

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung DE 102 52 409.2 über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 52 409.2

**Anmeldetag:** 12. November 2002

**Anmelder/Inhaber:** LuK Lamellen und Kupplungsbau Beteiligungs KG,  
77815 Bühl/DE

**Bezeichnung:** Verfahren, Vorrichtung und deren Verwendung  
zum Betrieb eines Kraftfahrzeuges, insbesondere  
zur Ansteuerung der Aktorik eines automatisierten  
Schaltgetriebes (ASG)

**IPC:** B 60 K, F 16 D, F 16 H

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. März 2006  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Remus

LuK Lamellen und Kupplungsbau  
Beteiligungs KG  
Industriestraße 3  
77815 Bühl

GS 0582 S A DE

**Verfahren, Vorrichtung und deren Verwendung zum Betrieb eines Kraft-  
fahrzeuges, insbesondere zur Ansteuerung der Aktorik eines automati-  
sierten Schaltgetriebes (ASG)**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung und deren Verwendung zum Betrieb eines Kraftfahrzeuges gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Gemäß Figur 1 weist ein Fahrzeug 1 eine Antriebseinheit 2, wie einen Motor oder eine Brennkraftmaschine, auf. Weiterhin sind im Antriebsstrang des Fahrzeuges 1 ein Drehmomentübertragungssystem 3 und ein Getriebe 4 angeordnet. In diesem Ausführungsbeispiel ist das Drehmomentübertragungssystem 3 im Kraftfluss zwischen Motor und Getriebe angeordnet, wobei ein Antriebsmoment des Motors über das Drehmomentübertragungssystem 3 an das Getriebe 4 und von dem Getriebe 4 abtriebsseitig an eine Abtriebswelle 5 und an eine nachgeordnete Achse 6 sowie an die Räder 6a übertragen wird.

Das Drehmomentübertragungssystem 3 ist als Kupplung, wie z. B. als Reibungskupplung, Lamellenkupplung, Magnetpulverkupplung oder Wandlerüberbrückungskupplung, ausgestaltet, wobei die Kupplung eine selbsteinstellende oder eine verschleißausgleichende Kupplung sein kann. Das Getriebe 4 ist ein unterbrechungsfreies Schaltgetriebe (USG). Entsprechend dem erfindungsgemäßen Gedanken kann das Getriebe auch ein automatisiertes Schaltgetriebe (ASG) sein, welches mittels zumindest eines Aktors automatisiert geschaltet werden kann. Als automatisiertes Schaltgetriebe ist im weiteren ein automatisiertes Getriebe zu verstehen, welches mit einer Zugkraftunterbrechung geschaltet wird und bei dem der Schaltvorgang der Getriebeübersetzung mittels zumindest eines Aktors angesteuert durchgeführt wird.

Weiterhin kann als USG auch ein Automatgetriebe Verwendung finden, wobei ein Automatgetriebe ein Getriebe im wesentlichen ohne Zugkraftunterbrechung bei den Schaltvorgängen ist und das in der Regel durch Planetengetriebestufen aufgebaut ist.

Weiterhin kann ein stufenlos einstellbares Getriebe, wie beispielsweise Kegelscheibenumschlingungsgetriebe eingesetzt werden. Das Automatgetriebe kann auch mit einem abtriebsseitig angeordneten Drehmomentübertragungssystem 3, wie eine Kupplung oder eine Reibungskupplung, ausgestaltet sein. Das Drehmomentübertragungssystem 3 kann weiterhin als Anfahrkupplung und/oder Wendesatzkupplung zur Drehrichtungsumkehr und/oder Sicherheitskupplung mit einem gezielt ansteuerbaren übertragbaren Drehmoment aus-

gestaltet sein. Das Drehmomentübertragungssystem 3 kann eine Trockenreibungskupplung oder eine nass laufende Reibungskupplung sein, die beispielsweise in einem Fluid läuft. Ebenso kann es ein Drehmomentwandler sein.

Das Drehmomentübertragungssystem 3 weist eine Antriebsseite 7 und eine Abtriebsseite 8 auf, wobei ein Drehmoment von der Antriebsseite 7 auf die Abtriebsseite 8 übertragen wird, indem z. B. die Kupplungsscheibe 3a mittels der Druckplatte 3b, der Tellerfeder 3c und dem Ausrücklager 3e sowie dem Schwungrad 3d kraftbeaufschlagt wird. Zu dieser Beaufschlagung wird der Ausrückhebel 20 mittels einer Betätigungseinrichtung, z.B. einem Aktor, betätigt.

Die Ansteuerung des Drehmomentübertragungssystems 3 erfolgt mittels einer Steuereinheit 13, wie z. B. einem Steuergerät, welches die Steuerelektronik 13a und den Aktor 13b umfassen kann. In einer anderen vorteilhaften Ausführung können der Aktor 13b und die Steuerelektronik 13a auch in zwei unterschiedlichen Baueinheiten, wie z.B. Gehäusen, angeordnet sein.

Die Steuereinheit 13 kann die Steuer- und Leistungselektronik zur Ansteuerung des Antriebsmotors 12 des Aktors 13b enthalten. Dadurch kann beispielsweise vorteilhaft erreicht werden, dass das System als einziger Bauraum den Bauraum für den Aktor 13b mit Elektronik benötigt. Der Aktor 13b besteht aus dem Antriebsmotor 12, wie z.B. einem Elektromotor, wobei der Elektromotor 12 über ein Getriebe, wie z.B. ein Schneckengetriebe, ein Stirnradgetriebe, ein Kurbelgetriebe oder ein Gewindespindelgetriebe, auf einen Geberzylinder 11 wirkt.

Diese Wirkung auf den Geberzylinder 11 kann direkt oder über ein Gestänge erfolgen.

Die Bewegung des Ausgangsteiles des Aktors 13b, wie z. B. des Geberzylinderkolbens 11a, wird mit einem Kupplungswegsensor 14 detektiert, welcher die Position oder Stellung oder die Geschwindigkeit oder die Beschleunigung einer Größe detektiert, welche proportional zur Position bzw. Einrückposition respektive der Geschwindigkeit oder Beschleunigung der Kupplung ist. Der Geberzylinder 11 ist über eine Druckmittelleitung 9, wie z.B. eine Hydraulikleitung, mit dem Nehmerzylinder 10 verbunden. Das Ausgangselement 10a des Nehmerzylinders ist mit dem Ausrückmittel 20, z.B. einem Ausrückhebel, wirkverbunden, so dass eine Bewegung des Ausgangsteiles 10a des Nehmerzylinders 10 bewirkt, dass das Ausrückmittel 20 ebenfalls bewegt oder verkippt wird, um das von der Kupplung 3 übertragbare Drehmoment anzusteuern.

Der Aktor 13b zur Ansteuerung des übertragbaren Drehmoments des Drehmomentübertragungssystems 3 kann druckmittelbetätigbar sein, d.h., er kann einen Druckmittelgeber- und Nehmerzylinder aufweisen. Das Druckmittel kann beispielsweise ein Hydraulikfluid oder ein Pneumatikmedium sein. Die Betätigung des Druckmittelgeberzylinders kann elektromotorisch erfolgen, wobei der als Antriebselement 12 vorgesehene Elektromotor elektronisch angesteuert werden kann. Das Antriebselement 12 des Aktors 13b kann neben einem elektromotorischen Antriebselement auch ein anderes, beispielsweise druckmittel-

betätigtes Antriebselement sein. Weiterhin können Magnetaktoren verwendet werden, um eine Position eines Elementes einzustellen.

Bei einer Reibungskupplung erfolgt die Ansteuerung des übertragbaren Drehmomentes dadurch, dass die Anpressung der Reibbeläge der Kupplungsscheibe zwischen dem Schwungrad 3d und der Druckplatte 3b gezielt erfolgt. Über die Stellung des Ausrückmittels 20, wie z.B. einer Ausrückgabel oder eines Zentralausrückers, kann die Kraftbeaufschlagung der Druckplatte 3b respektive der Reibbeläge gezielt angesteuert werden, wobei die Druckplatte 3b dabei zwischen zwei Endpositionen bewegt und beliebig eingestellt und fixiert werden kann. Die eine Endposition entspricht einer völlig eingerückten Kupplungsposition und die andere Endposition einer völlig ausgerückten Kupplungsposition. Zur Ansteuerung eines übertragbaren Drehmomentes, welches beispielsweise geringer ist als das momentan anliegende Motormoment, kann beispielsweise eine Position der Druckplatte 3b angesteuert werden, die in einem Zwischenbereich zwischen den beiden Endpositionen liegt. Die Kupplung kann mittels der gezielten Ansteuerung des Ausrückmittels 20 in dieser Position fixiert werden. Es können aber auch übertragbare Kupplungsmomente angesteuert werden, die definiert über den momentan anstehenden Motormomenten liegen. In einem solchen Fall können die aktuell anstehenden Motormomente übertragen werden, wobei die Drehmoment-Ungleichförmigkeiten im Antriebsstrang in Form von beispielsweise Drehmomentspitzen gedämpft und/oder isoliert werden.

Zur Ansteuerung des Drehmomentübertragungssystems 3 werden weiterhin Sensoren verwendet, die zumindest zeitweise die relevanten Größen des gesamten Systems überwachen und die zur Steuerung notwendigen Zustandsgrößen, Signale und Messwerte liefern, die von der Steuereinheit verarbeitet werden, wobei eine Signalverbindung zu anderen Elektroneinheiten, wie beispielsweise zu einer Motorelektronik oder einer Elektronik eines Antiblockiersystems (ABS) oder einer Antischlupfregelung (ASR) vorgesehen sein kann und bestehen kann. Die Sensoren detektieren beispielsweise Drehzahlen, wie Raddrehzahlen, Motordrehzahlen, die Position des Lasthebels, die Drosselklappenstellung, die Gangposition des Getriebes, eine Schaltabsicht und weitere fahrzeugspezifische Kenngrößen.

Die Fig. 1 zeigt, dass ein Drosselklappensensor 15, ein Motordrehzahlsensor 16 sowie ein Tachosensor 17 Verwendung finden können und Messwerte bzw. Informationen an das Steuergerät 13 weiterleiten. Die Elektroneinheit, wie z.B. eine Computereinheit, der Steuerelektronik 13a verarbeitet die Systemeingangsgrößen und gibt Steuersignale an den Aktor 13b weiter.

Das Getriebe ist als z.B. Stufenwechselgetriebe ausgestaltet, wobei die Übersetzungsstufen mittels eines Schalthebels 18 gewechselt werden oder das Getriebe mittels dieses Schalthebels 18 betätigt oder bedient wird. Weiterhin ist an dem Schalthebel 18 des Handschaltgetriebes zumindest ein Sensor 19b angeordnet, welcher die Schaltabsicht und/oder die Gangposition detektiert und an das Steuergerät 13 weiterleitet. Der Sensor 19a ist am Getriebe angelenkt und

detektiert die aktuelle Gangposition und/oder eine Schaltabsicht. Die Schaltabsichtserkennung unter Verwendung von zumindest einem der beiden Sensoren 19a, 19b kann dadurch erfolgen, dass der Sensor ein Kraftsensor ist, welcher die auf den Schalthebel 18 wirkende Kraft detektiert. Weiterhin kann der Sensor aber auch als Weg- oder Positionssensor ausgestaltet sein, wobei die Steuereinheit aus der zeitlichen Veränderung des Positionssignals eine Schaltabsicht erkennt.


Das Steuergerät 13 steht mit allen Sensoren zumindest zeitweise in Signalverbindung und bewertet die Sensorsignale und Systemeingangsgrößen in der Art und Weise, dass in Abhängigkeit von dem aktuellen Betriebspunkt die Steuereinheit Steuer- oder Regelungsbefehle an den zumindest einen Aktor 13b ausgibt. Der Antriebsmotor 12 des Aktors 13b, z.B. ein Elektromotor, erhält von der Steuereinheit, welche die Kupplungsbetätigung ansteuert, eine Stellgröße in Abhängigkeit von Messwerten und/oder Systemeingangsgrößen und/oder Signalen der angeschlossenen Sensorik. Hierzu ist in dem Steuergerät 13 ein Steuerprogramm als Hard- und/oder als Software implementiert, das die eingehenden Signale bewertet und anhand von Vergleichen und/oder Funktionen und/oder Kennfeldern die Ausgangsgrößen berechnet oder bestimmt.

Das Steuergerät 13 hat in vorteilhafter Weise eine Drehmomentbestimmungseinheit, eine Gangpositionsbestimmungseinheit, eine Schlupfbestimmungseinheit und/oder eine Betriebszustandsbestimmungseinheit implementiert oder es steht mit zumindest einer dieser Einheiten in Signalverbindung. Diese Einheiten




können durch Steuerprogramme als Hardware und/oder als Software implementiert sein, so dass mittels der eingehenden Sensorsignale das Drehmoment der Antriebseinheit 2 des Fahrzeuges 1, die Gangposition des Getriebes 4 sowie der Schlupf, welcher im Bereich des Drehmomentübertragungssystems 3 herrscht und der aktuelle Betriebszustand des Fahrzeuges 1 bestimmt werden können. Die Gangpositionsbestimmungseinheit ermittelt anhand der Signale der Sensoren 19a und 19b den aktuell eingelegten Gang. Dabei sind die Sensoren 19a, 19b am Schalthebel und/oder an getriebeinternen Stellmitteln, wie beispielsweise einer zentralen Schaltwelle oder Schaltstange, angelenkt und diese detektieren, beispielsweise die Lage und/oder die Geschwindigkeit dieser Bauteile. Weiterhin kann ein Lasthebelsensor 31 am Lasthebel 30, wie z.B. an einem Gaspedal, angeordnet sein, welcher die Lasthebelposition detektiert. Ein weiterer Sensor 32 kann als Leerlaufschalter fungieren, d.h. bei betätigtem Lasthebel 30 bzw. Gaspedal ist dieser Leerlaufschalter 32 eingeschaltet und bei nicht betätigtem Lasthebel 30 ist er ausgeschaltet, so dass durch diese digitale Information erkannt werden kann, ob der Lasthebel 30 betätigt wird. Der Lasthebelsensor 31 detektiert den Grad der Betätigung des Lasthebels 30.

Die Fig. 1 zeigt neben dem Lasthebel 30 und den damit in Verbindung stehenden Sensoren ein Bremsenbetätigungselement 40 zur Betätigung der Betriebsbremse oder der Feststellbremse, wie z.B. ein Bremspedal, einen Handbremshebel oder ein hand- oder fußbetätigtes Betätigungselement der Feststellbremse. Zumindest ein Sensor 41 ist an dem Betätigungselement 40 angeordnet und überwacht dessen Betätigung. Der Sensor 41 ist beispielsweise als digitaler



Sensor, wie z. B. als Schalter, ausgestaltet, wobei dieser detektiert, dass das Bremsenbetätigungselement 40 betätigt oder nicht betätigt ist. Mit dem Sensor 41 kann eine Signaleinrichtung, wie z.B. eine Bremsleuchte, in Signalverbindung stehen, welche signalisiert, dass die Bremse betätigt ist. Dies kann sowohl für die Betriebsbremse als auch für die Feststellbremse erfolgen. Der Sensor 41 kann jedoch auch als analoger Sensor ausgestaltet sein, wobei ein solcher Sensor, wie beispielsweise ein Potentiometer, den Grad der Betätigung des Bremsenbetätigungselementes 41 ermittelt. Auch dieser Sensor kann mit einer Signaleinrichtung in Signalverbindung stehen.

Nachfolgend wird eine mögliche Ausgestaltung der hier vorgestellten Erfindung beschrieben, bei der eine modellgestützte Kompensation, insbesondere bei Getriebemotoren oder dergleichen, vorgesehen wird.



Es hat sich gezeigt, dass insbesondere bei einem automatisierten Schaltgetriebe (ASG) die Getriebemotoren, wie z.B. Wähl- und Schaltmotoren, in unterschiedlichen Betriebsarten beispielsweise lage- oder drehzahl geregelt angesteuert werden. Die dafür z.B. in einem Offline-Modus durchgeführten Regelungsentwürfe basieren üblicherweise auf einfachen physikalischen Modellen der Getriebemotoren und der Aktorik. Diese Modelle werden anhand von Simulationen und Messungen verifiziert. Insbesondere Untersuchungen an einem Prüfstand und an den Fahrzeugen haben jedoch gezeigt, dass ein verändertes Streckenverhalten zu Komforteinbußen und in ungünstigen Fällen sogar zu Fehlfunktionen oder zum Ausfall des Getriebeaktors führen kann. Mögliche Ur-

sachen für Streckenänderungen sind z.B. fertigungsbedingte Schwankungen der Motorkenngrößen im Neuzustand des Fahrzeuges. Ferner können Ursachen auch in einem Verschleiß und in der Alterung der Motoren über die gesamte Lebensdauer oder auch temporär auftretende Temperatureinflüsse sein.

Es ist möglich, dass temperaturbedingte Streckenänderungen in der Steuerungssoftware des automatisierten Schaltgetriebes über eine z.B. experimentell ermittelte statische Kompensation berücksichtigt werden kann. Jedoch findet dabei eine temperaturabhängige Adaption der Reglerparameter nicht statt.

Um eine systematische und umfassende Berücksichtigung aller möglichen Streckenänderungen zu realisieren, kann beispielsweise die Adaption der Reglerparameter und/oder die Kompensation der Streckenänderungen vorgesehen sein. Beide Vorgehensweisen erfordern jedoch geeignete Streckenmodelle sowie ein in der Steuerungssoftware realisierbares Verfahren zur Identifikation der Streckenänderungen im Online-Modus.


Eine Adaption der Reglerparameter kann z.B. realisiert werden, wenn der Regelungsentwurf in der Steuerungssoftware implementiert ist und im Online-Modus durchgeführt wird. Dabei ist jedoch eine ausreichende Kapazität hinsichtlich der Speicherung, der Laufzeit oder dgl. bei dem verwendeten Controller erforderlich. Eine zweite Möglichkeit kann darin bestehen, dass die Reglerparameter für unterschiedliche Streckenverhalten im Offline-Modus berechnet werden und dann in der Steuerungssoftware z.B. in vorbestimmten Kennfeldern

abgelegt werden. Zusätzlich müssen alle in der Steuerungssoftware definierten Kraftvorgaben geeignet angepasst werden. Um dies zu vermeiden, kann gemäß der hier vorgestellten Erfindung eine modellgestützte Strategie zu Kompensation von Streckenänderungen vorgesehen werden, bei deren Anwendung die in der Steuerungssoftware implementierten Reglerparameter und Kraftvorgaben in vorteilhafter Weise nicht adaptiert werden müssen.


Im Rahmen der hier vorgestellten Erfindung wird eine modellgestützte Kompensationsstrategie, insbesondere für Getriebemotoren und für die Aktorik, vorgeschlagen, mit der eine identifizierte Streckenänderung bezüglich eines Referenzmodells ausgeglichen werden kann, ohne dass die in der Software implementierten Parameter und Vorgaben adaptiert werden müssen. Ein entsprechendes Ablaufdiagramm der erfindungsgemäßen Kompensationsstrategie ist in Figur 2 schematisch dargestellt. Dort wird die Anordnung von Identifikation und Kompensation in einem entsprechenden Regelkreis angedeutet.

Diese Kompensationsstrategie beinhaltet eine Unterscheidung zwischen temporär auftretenden Temperatur bedingten Streckenänderungen und langfristig wirkenden vom Betrieb und der Hardware abhängigen Änderungen des Streckenverhaltens. Es ist denkbar, dass bei der erfindungsgemäßen Strategie weitere geeignete Aspekte berücksichtigt werden. Beispielsweise kann bei der erfindungsgemäßen Strategie auch eine Adaption der Kompensation an ein verändertes Streckenverhalten, eine Begrenzung der Kompensation und/oder eine

Speicherung der langfristig wirkenden Streckenänderungen berücksichtigt werden.



Besonders vorteilhaft ist bei der Kompensationsstrategie nach der hier vorgestellten Erfindung, dass diese auf einfachen parametrischen Modellen der Getriebemotoren und/oder der Aktorik basieren. Die Modellparameter können unter Berücksichtigung vorbestimmter Randbedingungen bevorzugt im Online-Modus während eines Gangwechsels, z.B. im lagegeregelten Betrieb der Getriebemotoren, identifiziert werden. Dafür kann z.B. in die Steuerungssoftware ein geeignetes Parameterschätzverfahren implementiert werden. Für die Identifikation können die kompensierten und beispielsweise auf die maximale Batteriespannung begrenzten Spannungen  $U_k$  sowie die gemessenen Getriebemotordrehzahlen  $n$  verwendet werden. Es ist auch möglich, dass dabei andere Parameter und Größen berücksichtigt werden.



Die Abweichungen der identifizierten Modellparameter von den Parametern der Referenzmodelle können theoretisch für die Herleitung einer vollständigen insbesondere dynamischen Kompensationsstrategie verwendet werden. Auf Grund der einfachen Streckenmodelle, der Totzeiten bei der Erfassung der Motordrehzahlen oder dgl., kann allerdings eine teilweise statische Kompensation der Streckenänderungen sinnvoll sein.

Eine mögliche statische Kompensationsstrategie kann bevorzugt folgende Schritte umfassen, welche schematisch in Figur 3 dargestellt sind, wobei die einzelnen Schritte mit 1 bis 6 durchnummeriert sind.

Nach einer erfolgreich durchgeführten Identifikation kann zunächst mit den neuen Modellparametern eine neue Streckenverstärkung  $k$  in einem ersten Schritt 1 berechnet werden, vgl. Figur 3.

In einem zweiten Schritt 2 wird die Streckenverstärkung  $k$  mit der schon in der Steuerungssoftware realisierten Temperaturkompensation 7 geeignet korrigiert, welche vor der Begrenzung der Lagereglerspannungen  $U_R$ , welche als Stellgrößen verwendet werden, auf die maximale Batteriespannung und der Umrechnung auf z.B. PWM-Größen (Pulsweitenmodulationsgrößen) erfolgt. Die durchgeführte Korrektur hat die Aufgabe, dass die langfristig wirkenden Streckenänderungen von den temperaturbedingten und temporär auftretenden Änderungen getrennt sowie die in der Temperaturkompensation 7 enthaltenden Unsicherheiten ausgeglichen werden. Eine mögliche Unsicherheit kann z.B. darin bestehen, dass die Kompensation auf der Grundlage der Getriebetemperatur erfolgt, welche in der Steuerungssoftware mit einem Temperaturmodell berechnet wird. Die Temperaturverhältnisse an den Getriebemotoren sind unter Umständen nicht bekannt. Aus regelungstechnischer Sicht kann die Temperaturkompensation somit nur die Funktion einer Vorsteuerung übernehmen, mit der aber bei einem Ausfall der Identifikation zumindest noch in einem gewissen

Rahmen temperaturbedingte Streckenänderungen ausgeglichen werden können.

Die in einem dritten Schritt der erfindungsgemäßen Kompensationsstrategie vorgenommene Filterung 3 der Streckenverstärkung  $K_1$  dient der Gewichtung neuer Verstärkungswerte und bestimmt somit die Adaptionsgeschwindigkeit der Kompensation an ein verändertes Streckenverhalten, wobei vorzugsweise ein diskreter Filter erster Ordnung verwendet wird. Es ist jedoch auch möglich andere Filter zur Filterung bei der erfindungsgemäßen Kompensationsstrategie zu verwenden. Die Filterkonstante kann z.B. konstant sein oder auch in Abhängigkeit von anderen Randbedingungen vorgegeben werden. Beispielsweise kann als Randbedingung die Temperatur, deren Änderung oder dgl. verwendet werden.


Der gefilterte Verstärkungswert  $K_2$  kann anschließend auf einen definierten Wertebereich begrenzt werden, welches in einem vierten Schritt 4 durchgeführt wird. Damit können Aspekte, wie die Robustheit der Regelung oder der Schutz der Aktorik und der Getriebemotoren geeignet berücksichtigt werden. Die Robustheit der Regelung kann z.B. beeinträchtigt werden, wenn die Dynamik der Strecke erhöht wird; dies bedeutet, dass das System empfindlicher gegenüber Störungen ist und gleichzeitig die Streckenverstärkung durch die Kompensation erhöht wird, welches einer zusätzlichen Anregung des Systems entspricht.

Die Initialisierung aus der durchgeführten Begrenzung 4 resultierenden Kompensationsverstärkung  $K_c$  kann vorzugsweise einmalig nach der Inbetriebnahme mit der Streckenverstärkung  $K_r$  des Referenzmodells erfolgen. Die sich während des Betriebs normalerweise ändernde Kompensationsverstärkung kann im Rahmen eines fünften Schrittes 5 z.B. bei dem Zustand „Zündung aus“ vorzugsweise in dem sogenannten EEPROM gespeichert werden. Dieser gespeicherte Wert kann z.B. als Startwert beim nächsten Zustand „Zündung ein“ verwendet werden. Temperaturbedingt auftretende Streckenänderungen zwischen den Zuständen „Zündung aus“ und „Zündung ein“ können dann durch die Temperaturkompensation 7 ausgeglichen werden. Zur Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Temperaturkompensation können zudem Möglichkeiten vorgesehen werden, bei denen vorzugsweise der Verstärkungswert nur dann bei dem Zustand „Zündung aus“ gespeichert wird, wenn die Getriebetemperatur innerhalb eines definierten Bereichs liegt und/oder eine bestimmte, vom Wert der Filterkonstante abhängige Anzahl erfolgreich durchgeführter Identifikationen vorliegen. Es sind auch andere Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Temperaturkompensation denkbar.

In einem letzten Schritt 6 der erfindungsgemäßen Strategie kann z.B. die eigentliche statische Kompensation der Lagereglerspannung  $U_R$  durchgeführt werden. Die kompensierte Spannung  $U_c$  kann dabei aus dem Produkt von  $U_R$  und dem Verhältnis  $K_R/K_c$  resultieren.




Um die erfindungsgemäße Strategie weiter zu verbessern, kann vorgesehen sein, dass weitere geeignete Schritte in die erfindungsgemäße Strategie integriert werden oder auch eine andere beliebige Kombination der genannten Schritte vorgesehen wird.



Die hier vorgestellte Kompensationsstrategie kann bevorzugt bei sämtlichen Fahrzeugen verwendet werden, welche ein automatisiertes Schaltgetriebe (ASG) aufweisen. Es ist auch denkbar, dass die vorliegende Strategie bei Fahrzeugen mit anderen Getrieben verwendet wird.

Besonders vorteilhaft ist bei der hier vorgestellten Strategie, dass die Kompensation mit einer geeigneten Adaptation der Reglerparameter kombiniert werden kann. Es ist auch denkbar, dass die Adaption der Reglerparameter oder dgl. von der durchgeführten Kompensation unabhängig voneinander durchgeführt wird.



Nachfolgend wird eine weitere Ausgestaltung der hier vorgestellten Erfindung beschrieben, bei der eine mögliche Strategie zur Erkennung, z.B. eines Schaltfingerbruchs bei einem Schaltaktor oder dgl., vorgeschlagen wird.

Es hat sich gezeigt, dass z.B. bei einem Bruch der Wählaktoriik eines automatisierten Schaltgetriebes (ASG) die Getriebesteuerung immer noch Wählinkremente messen kann, obwohl sich der Schaltfinger im Getriebe nicht mehr in Wählrichtung bewegen kann. Somit ist es möglich, dass eventuell falsche Gän-

ge eingelegt werden. Insbesondere wenn der erste Gang und der rückwärts Gang nebeneinander angeordnet sind, könnte dann bei einem gewünschten Wechsel von Gang 1 nach R ohne Wählbewegung erneut der 1. Gang eingelegt werden und dann das Fahrzeug dann in die falsche Richtung bewegt werden. Dies sollte unbedingt vermieden werden.

Demzufolge wird im Rahmen einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung eine Erkennungsmöglichkeit vorgeschlagen, um z.B. einen Bruch der Wählaktorik oder auch einen gesamten Ausfall der Wählaktorik zu detektieren. Dazu kann z.B. nach einem Gangwechsel zunächst vorzugsweise in RL-Richtung (rechts-links-Richtung) die Gassenbreite ertastet werden. Wenn z.B. bei dieser Abtastung die entsprechenden Gassenwände gefunden werden bzw. detektiert werden, kann ein Bruch bzw. ein Fehlverhalten der Wählaktorik ausgeschlossen werden. Beispielsweise kann vorgesehen werden, dass die Kupplung erst geschlossen wird, wenn zumindest ein Anschlag in RL-Richtung gefunden worden ist. Somit kann es jedoch vorkommen, dass das zu übertragende Moment auf den Antriebsstrang verzögert wird, welches unter Umständen zu einem Wegtouren des Motors führen kann. Um dies zu verhindern, kann vorzugsweise der Aufbau des Motormoments entsprechend dem Aufbau des Kupplungsmoments verzögert werden. Durch die erfindungsgemäße Erkennung einer z.B. gebrochenen Wählaktorik kann insbesondere ausgeschlossen werden, dass das Fahrzeug in eine ungewünschte Richtung anfährt, weil fälschlicher Weise z.B. ein Vorwärtsgang statt des Rückwärtsgangs oder umgekehrt eingelegt worden ist. Diese erfindungsgemäße Detektion bzw. Erkennung eines Fehlver-

haltens der Schaltaktorik kann bevorzugt bei automatisierten Schaltgetrieben aber auch bei anderen Getrieben eingesetzt werden.

Nachfolgend wird eine weitere Ausgestaltung der hier vorgestellten Erfindung beschrieben, bei der eine Plausibilisierung der Bewegungsrichtung z.B. von Elektromotoren anhand der Bestromungsrichtung vorgeschlagen wird.

Es hat sich gezeigt, dass es auf Grund eines erhöhten Übergangswiderstandes, beispielsweise durch Feuchtigkeit an den Steckkontakten, zur Beeinflussung des Spannungspegels eines Richtungs- und/oder Frequenzsignals kommen kann. Dies kann z.B. dazu führen, dass daraus eine nicht korrekte Bewegungsrichtung interpretiert werden kann.

Für die Erfassung der Drehrichtung bei den Getriebemotoren kann z.B. aus jedem Schalt- und/oder Wählmotor bevorzugt je ein Frequenz- und ein Richtungssignal vorgesehen sein. Das Frequenzsignal kann dann in Abhängigkeit des Richtungssignals bevorzugt über einen Aufwärts/Abwärts-Zähler direkt am Mikrokontroller ausgewertet werden.

Beispielsweise kann jedes Signal vorzugsweise vier verschiedene Informationszustände liefern:

- Kurzschluss Masse
- Kurzschluss Plus/Kabelbruch
- High-Pegel (ca. 8 Volt)


- Low-Pegel (ca. 4 Volt)

Dabei ist es möglich, dass ein Kurzschluss der Signale z.B. eines Hallsensors sofort erkannt wird. Ein plausibles aber falsches Signal, z.B. durch einen veränderten Übergangswiderstand an einem Stecker oder dgl., kann in diesem Fall nicht direkt über den Spannungspegel erkannt werden. Um auch diesen Fehlerfall zu erkennen, kann beispielsweise vorgesehen sein, dass ein Parallelmodell verwendet wird. Das Parallelmodell kann ähnlich wie ein PT1-Glied oder dgl. die Bestromung mit der geänderten Position entsprechend vergleichen.


Im Rahmen einer vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann vorgesehen sein, dieses sogenannte Parallelmodell um eine weitere Fehlererkennung erweitert wird. Insbesondere sollte dieses weiterentwickelte Modell hinsichtlich seiner Geschwindigkeit zur Erkennung von möglichen Fehlerfällen verbessert werden. Dazu kann z.B. vorgesehen sein, dass bei einem unbestromten, stehenden Motor vorzugsweise eine Plausibilisierung des Anlaufstromes mit dem Richtungssignal vorgesehen wird. Dabei wird überprüft, ob das empfangene Richtungssignal nach einer bestimmten Zeit  $T$  mit entsprechender Drehbewegung  $X$  für eine vorbestimmte Zeit nicht mit der vorgegebenen Bestromungsrichtung übereinstimmt. Sollte dieser Fall vorliegen, kann z.B. die Endstufe abgeschaltet werden. Mögliche Fehlerursachen können dafür z.B. sein:

- Pulsweitenmodulations-Signal (PWM-Signal) ist hinsichtlich seiner Verdrahtung vertauscht;

- die Magnete oder der Poltopf des Motors ist bei der Fertigung vertauscht worden;
- der verwendete Hallsensor ist defekt, welches aus dem Richtungssignal generiert wird;
- die Übergangswiderstände sind zu hoch z.B. bei verwendeten Steckkontakten;



Des weiteren können neben den bereits genannten Anwendungen mit einem Frequenz- und einem Richtungssignal andere Anwendungen vorgesehen sein, welche bei Motoren mit mehreren Sensoren, insbesondere Hallsensoren oder dgl., also mit verschiedenen Frequenzsignalen, eingesetzt werden. Bei diesen Anwendungen kann die Richtung aus der Reihenfolge der Frequenzpegel ermittelt werden, wie z.B. bei bürstenlosen Motoren.




Bei diesen Anwendungen kann zur Überwachung wie folgt vorgegangen werden; ausgehend von einem unbestromten, stehenden Motor wird eine Plausibilisierung des Anlaufstromes mit den Hallsignalen durchgeführt. Es wird dabei überprüft, ob die als nächstes empfangene Sensorflanke nicht mit der vorgegebenen Bestromungsrichtung übereinstimmt. Sollte dies der Fall sein, kann ebenfalls die Endstufe abgeschaltet werden.


Die Ursache kann dafür neben einem verfälschten Pegel bzw. Frequenzpegel auch ein defekter Sensor, insbesondere Hallsensor, sein. Durch die sehr schnelle erfindungsgemäße Fehlererkennung kann es unter Umständen mög-

lich sein, dass auf die sonst zusätzliche Kurzschlussüberwachung in vorteilhafter Weise verzichtet werden kann.

Es ist auch möglich, dass die genannten und auch andere Maßnahmen zur Plausibilisierung der Bewegungsrichtung beliebig miteinander kombiniert werden, um das erfindungsgemäße Verfahren weiter zu verbessern.



Nachfolgend wird eine weitere Ausgestaltung der hier vorgestellten Erfindung beschrieben, bei der eine mögliche Strategie vorzugsweise zum Einfrieren des aktuellen Gangs bei Unsicherheiten hinsichtlich der Bestimmung der Fahrzeuggeschwindigkeit vorgeschlagen wird.



Es hat sich gezeigt, dass bei einem Ausfall der Übermittlung oder bei fehlerhaft übermittelten Raddrehzahlen eine sichere Zielgangberechnung nicht mehr stattfinden kann. Daher kann z.B. vorgesehen sein, dass die Endstufen der Getriebeaktorik abgeschaltet werden, also ein sogenannter shut-down (Herunterfahren) durchgeführt wird.

Der sogenannte shut-down kann jederzeit in jeder Getriebeposition ausgelöst werden. Für eine Aufhebung des shut-downs kann z.B. vorgesehen sein, dass die Zündung zwischenzeitlich ausgeschaltet werden muss und der verursachende Fehler entsprechend herausgefiltert wird. Sollte der verursachende Fehler immer noch aktiv sein, kann das Fahrzeug in diesem Fall mit eingeleg-

tem Gang nicht mehr bewegt werden. Demnach ist dadurch die Verfügbarkeit und die Sicherheit beim Betrieb des Fahrzeuges eingeschränkt.

Demnach liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine geeignete Strategie vorzuschlagen, welche den vorgesehenen shut-down ersetzen soll und somit die Fahrzeugverfügbarkeit und die Fahrzeugsicherheit erhöht.




Dies kann gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung dadurch erreicht werden, dass, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit nicht mehr mit entsprechender Sicherheit ermittelt werden kann, der aktuelle Gang, welcher in dem Getriebe eingelegt ist, entsprechend eingefroren wird; dies bedeutet, dass ein Gangwechsel in diesem Fall nicht möglich ist. Die Bestromung der Endstufen der Getriebeaktoren können dabei vorzugsweise aufrecht erhalten werden, um somit eine begonnene Schaltung noch sicher abschließen zu können.



Es kann z.B. vorgesehen sein, dass der eingefrorene aktuelle Gang solange beibehalten wird, bis der Fahrer den Gangwahlhebel auf die Neutralstellung bewegt. Bei einer Neutralganganforderung kann dann der eingefrorene Gang wieder herausgenommen werden, da sich das Getriebe in diesem Fall in der Neutralstellung befindet.


Wenn z.B. der Gangwahlhebel wieder in die Drive-Position gebracht wird und ein Fahrer durch Betätigung z.B. des Fahrpedals über einen vorbestimmten

Schwellwert erkennbar ist, kann gemäß einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vorgesehen werden, dass dann ein Gang eingelegt wird, bei dem ein Überdrehen des Motors auch bei hohen Geschwindigkeiten vermieden wird. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, dass als Gang der 4. oder 5. Gang gewählt wird.



Wenn der Gangwahlhebel z.B. in die R-Position (rückwärts) gebracht wird, kann gemäß einer anderen Weiterbildung der Erfindung vorgesehen sein, dass der Neutralgang eingelegt bleibt, denn es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich das Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit vorwärts bewegt.

Besonders vorteilhaft ist es, dass die erfindungsgemäße hier vorgestellte Lösung nahezu für jedes System verwendet werden kann, dass für die automatische Gangauswahl zuständig ist.




Nachfolgend wird eine weitere Ausgestaltung der hier vorgestellten Erfindung beschrieben, bei der ein Verfahren zur Speicherung z.B. der Getriebeummer im Getriebesteuergerät vorgeschlagen wird, um einen nachträglichen Austausch dieser Komponente feststellen zu können.


Üblicherweise wird das Getriebesteuergerät (SG) in einem Getriebewerk an das Getriebe montiert; anschließend werden von diesem Getriebe die Getriebeparameter, wie z.B. die Gangendlagen, die Gassenlagen, die Gassenbreite, die Synchronschwellen oder dgl., in einem entsprechenden Getriebeprüfstand ge-



lernt und in das Getriebesteuergerät in einen nicht flüchtigen Speicher abgespeichert. Nach dem erfolgreich durchgeführten Lernvorgang bilden das Getriebe und das Getriebesteuergerät eine feste Paarung bzw. Einheit, die später nicht ohne weiteres voneinander getrennt werden kann. Eine Kennzeichnung dieser Paarung bzw. Einheit findet dabei nicht statt.




Es besteht nun die Möglichkeit, dass von diesen Paarungen nachträglich z.B. die Getriebesteuergeräte getauscht werden, welches auch als Kreuztausch bezeichnet wird, ohne dass die Getriebeparameter des neuen Getriebes erneut gelernt werden. In diesem Fall wird das Getriebe mit falschen Parametern betrieben werden. Dabei besteht die Gefahr, dass ein erhöhter Verschleiß und somit ein vorzeitiger Getriebeschaden auftreten kann.




Da jedes Getriebe mit einer eigenen Seriennummer oder dgl. versehen ist, kann diese vom Prüfstand bzw. von der Montagelinie eingelesen werden. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann z.B. vorgesehen sein, dass die Seriennummer vorzugsweise mittels eines Diagnosebefehls in das Getriebesteuergerät geschrieben und dort auch abgespeichert wird. Auf diese Weise kann durch einen Vergleich der hinterlegten Seriennummer im Getriebesteuergerät und im Getriebe festgestellt werden, ob die Getriebe/Getriebesteuergerät-Paarung zueinander gehört bzw. korrekt ist oder ob ein Austausch stattgefunden hat. Somit kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren vermieden werden, das Getriebe/Getriebesteuergerät-Paarungen mit den falschen Getriebeparametern be-

trieben werden und somit können eventuelle Getriebeschäden vermieden werden.

Nachfolgend wird eine weitere Ausgestaltung der hier vorgestellten Erfindung beschrieben, bei der eine Identifikation, insbesondere eine Online-Identifikation, für Modelle der Getriebemotoren, insbesondere mit einer robusten Fehlererkennung der Inkrementalwegmessung, vorgeschlagen.



Es ist bekannt, dass bei einem Ausfall oder einer Störung der Inkrementalwegmessung der Getriebeaktorik eine Bewegung durch die in der Steuerungssoftware implementierten Parallelmodelle der Getriebemotoren (Wählen/Schalten) erkennbar ist. Somit kann eine Differenzbildung zwischen gemessenen und modellierten Inkremente ermöglicht werden. Bei einer Überschreitung dieser Differenz, um eine bestimmte Schwelle, können Fehler bei der Inkrementalwegmessung erkannt werden. Um die Robustheit der Modelle bzw. die Fertigungsstreuung, die Betriebstemperatur und die Lebensdauer der Getriebemotoren zu gewährleisten, kann es von Vorteil sein, eine Online-Identifikation des Streckenverhaltens der Getriebemotoren zu ermöglichen.



Gemäß der hier vorgestellten Erfindung kann vorgesehen sein, dass vorzugsweise durch eine geeignete Softwaremaßnahme eine Online-Identifikation für die bereits implementierten Modelle, z.B. eines ASG-Getriebemotors, eine ausreichende Qualität der Fehlererkennung für die Inkrementalwegmessung gewährleistet wird. Dabei kann vorgesehen sein, dass während der Schalt- und

Wahlvorgänge, insbesondere im lagegeregelten Modus, die Signale der Eingangsspannung und/oder die Drehzahl der Getriebemotoren verwendet wird, um im Online Zustand das Streckenverhalten der Motoren zu identifizieren. Diese Lösung ist in Figur 4 in Art eines Signalflussdiagramms der Getriebe- steuerung dargestellt. Es sind auch andere Vorgehensweisen möglich, um eine geeignete Online-Identifikation der Modelle der Getriebemotoren vorzusehen.

Das diskrete Motormodell der Getriebemotoren setzt sich vorzugsweise aus einem PT1-Glied und einem I-Glied zusammen. Dabei werden die Eingangsspannung  $u_{k-1}$  und die Motordrehzahl  $N_{k-1}$  eines Lageregler-Interrupt zuvor erfasst und als Eingangsgrößen des PT1-Modells verwendet. Die aktuell modellierte Motordrehzahl  $n_k$  kann in dem Integrator (I-Glied) in entsprechende Motorinkremente  $x_k$  umgerechnet werden.

Daraus ergibt sich für das PT1-Glied:  $n_k = A \cdot n_{k-1} + B \cdot u_{k-1}$

Für das I-Glied (Integrator) ergibt sich folgende Gleichung:  $x_k = x_{k-1} + K \cdot T_A \cdot n_k$

Wird der Parameter K (I-Glied) als eine konstante Übersetzung zwischen dem Drehwinkel des Motors und den Motorinkrementen dargestellt, können die Parameter A und B des PT1-Modells z.B. nicht konstant sein. Sie können sich auf Grund von Fertigungsstreuung, Betriebstemperatur, Lebensdauer der Motoren oder dgl. entsprechend verändern.

Dies bedeutet, um eine robuste Modellierung zu realisieren, sollten die Parameter A und B während des Betriebes im Fahrzeug geeignet identifiziert werden. Dabei kann die Identifikationsmethode des sogenannten Least-Square-Verfahrens verwendet werden. Dort werden im lagegeregelten Zustand die Motordrehzahl  $n$  und die Motorspannung  $u$  in jedem Lageregler-Interrupt, von z.B. 5ms, eingelesen und es werden entsprechend der nachfolgenden Gleichungen die multiplizierten Werte aufsummiert:

$$\Phi_{nn}(0) = \sum_0^{N-1} n(i) \cdot n(i)$$

$$\Phi_{un}(0) = \sum_0^{N-1} n(i) \cdot u(i)$$

$$\Phi_{uu}(0) = \sum_0^{N-1} u(i) \cdot u(i)$$

$$\Phi_{nn}(1) = \sum_1^N n(i) \cdot n(i-1)$$

$$\Phi_{un}(1) = \sum_1^N n(i) \cdot u(i-1)$$

Bei den vorgenannten Gleichungen richtet sich die Zahl N der Summe nach der Dauer des lagegeregelten Modus während einer Schaltung. Demzufolge entspricht die Zahl N der Anzahl der Lageregler-Interrupts innerhalb des lagegeregelten Modus während eines Gangwechsels.

Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass bei Beendigung des lagegeregelten Schalt- und Wählvorganges die berechneten Zwischengrößen verwendet werden, um die Parameter A und B des PT1-Glieds zu ermitteln. Dazu können folgende Gleichungen verwendet werden:

$$A = \frac{-\Phi_{uu}(0) \cdot \Phi_{nn}(1) + \Phi_{un}(0) \cdot \Phi_{un}(1)}{\Phi_{uu}(0) \cdot \Phi_{nn}(0) - [\Phi_{un}(0)]^2}$$

$$B = \frac{-\Phi_{un}(0) \cdot \Phi_{nn}(1) + \Phi_{nn}(0) \cdot \Phi_{un}(1)}{\Phi_{uu}(0) \cdot \Phi_{nn}(0) - [\Phi_{un}(0)]^2}$$

Nachfolgend wird gemäß einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung der Ablauf der vorgeschlagenen Identifikation beschrieben. Um den Ablauf gezielt steuern zu können und zu überwachen, können verschiedene Zustände der Identifikation definiert werden. Die einzelnen Zustände während einer Identifikation können im sogenannten Hand-Shake-Verfahren durchlaufen werden, welches in Figur 5, die eine entsprechende Tabelle mit den definierten Zuständen zeigt, dargestellt ist.

Die dazugehörigen Zustandsabläufe der erfindungsgemäßen Identifikationsstrategie sind in Figur 6 dargestellt, wobei entsprechende Übergangsbedingungen der Zustände in einer weiteren Tabelle, welche in Figur 7 dargestellt ist, angegeben sind. Es ist möglich, dass auch andere Zustände, Zustandsabläufe und auch Übergangsbedingungen verwendet werden bzw. geeignet miteinander

der kombiniert werden, um die erfindungsgemäße Identifikationsstrategie weiter zu verbessern.

Nachfolgend wird eine weitere Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung beschrieben, bei der ein Verfahren zum Abschätzen der Stromstärke insbesondere bei ASG-Getriebemotoren z.B. mit einem softwareseitigen Beobachter oder dgl. vorgeschlagen wird.

Es hat sich gezeigt, dass das Bordnetz insbesondere durch hohe Stromspitzen der ASG-Getriebemotoren während einer Schaltung derart belastet wird, dass es unter Umständen zu einem erkennbaren Lichtflackern der Scheinwerfer, der Tachobeleuchtung oder dgl. kommen kann. Dabei wurde festgestellt, dass es keine hardwareseitige Strommessung der Getriebemotoren gibt und demzufolge keine Strombegrenzung durchgeführt werden kann.

Gemäß der vorliegenden Erfindung kann vorgesehen sein, dass vorzugsweise durch einen softwareseitigen Beobachter die Ströme der ASG-Getriebemotoren geeignet geschätzt werden und dadurch auch eine softwareseitige Strombegrenzung durchgeführt werden kann. Es ist möglich, dass der Beobachter das Streckenverhalten der Getriebemotoren identifiziert und z.B. die angeforderte Stromstärke über die ermittelten Streckenparameter, die angelegte Spannung und/oder die gemessene Motordrehzahl geeignet abschätzt.

Dabei kann das Streckenverhalten der Getriebemotoren mit Hilfe eines  $PT_1$ -Modells mit variablen Parametern dargestellt werden, welches der nachfolgenden Gleichung 1 entspricht. Bezüglich der Bewegungsgleichung eines Gleichstrommotors können die Parameter  $a$  und  $b$  während eines Gangwechsels im lagegeregelten Zustand identifiziert werden:

$$\dot{n} = a \cdot n + b \cdot u \quad \text{Gl. 1}$$

wobei

$n$  = Motordrehzahl

$a, b$  = Motorparameter

$u$  = Motorspannung sind.

Mit den allgemeinen Gleichungen eines Gleichstrommotors unter Vernachlässigung der Induktivität ergeben sich folgende Gleichungen:

$$U = R \cdot I + k_{\Phi} \cdot \omega \quad \text{Gl. 2}$$

$R$  = Ankerwiderstand  $[\Omega]$

$I$  = Stromstärke  $[A]$

$k_{\Phi}$  = Motorkonstante  $[Vs]$

$\omega$  = Motordrehzahl  $\left[\frac{1}{s}\right]$

$$J\dot{\omega} = k_{\Phi} \cdot I$$

Gl. 3

$J$  = Motorträgheit

$\dot{\omega}$  = Motorbeschleunigung

kann durch Umformung, Gleichsetzung und einem Koeffizientenvergleich mit der Gleichung 1 über die Parameter  $a$  und  $b$  auf die physikalischen Parameter geschlossen werden.

$$a = - \frac{k_{\Phi}^2}{J \cdot R}$$

Gl. 4

$$b = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{k_{\Phi}}{J \cdot R}$$

Gl. 5

Unter der Voraussetzung, dass die Motorträgheit  $J$  vorgegeben ist, ergeben sich für das vorgenannte Gleichungssystem nur 2 Unbekannte, nämlich der Ankerwiderstand  $R$  und die Motorkonstante  $k$ . Auf diese Weise können die physikalischen Parameter über die identifizierten Parameter  $a$  und  $b$  durch Auflösen der Gleichungen ermittelt werden. Es ergeben sich folgende Gleichungen:

$$|k_{\Phi}| = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{a}{b}$$

Gl. 6



$$|R| = \frac{1}{J} \cdot \left( \frac{60}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{a}{b^2} \quad \text{Gl. 7}$$

$$I = \frac{U - k_{\Phi} \cdot \frac{2\pi}{60} n}{R} \quad \text{Gl. 8}$$

Somit ist es nun möglich mit den bekannten Größen der Motorspannung  $U$  und der Motordrehzahl  $n$  die Stromstärke  $I$  mit dem erfindungsgemäßen Verfahren abzuschätzen. Auf diese Weise können die Stromspitzen entsprechend erkannt werden und eine entsprechend starke Beanspruchung des Bordnetzes ausgeglichen werden, sodass kein Lichtflackern bei Scheinwerfern oder Tachobeleuchtung auftreten kann.

Eine weitere mögliche Identifikationsstrategie, insbesondere bei ASG-Getriebeaktoren, wird vorgeschlagen.

Die Positionsbestimmung des Schaltfingers innerhalb des Getriebebeschaltbildes kann über die Inkrementalwegmessung in den Getriebeaktoren erfolgen. Dabei werden die Änderungen der Rotorstellungen erfasst. Eine neue Rotorstellung kann über die Rotorstellung zum vorhergehenden Zeitpunkt und der aktuellen Änderung berechnet werden. Die Aktoren besitzen magnetische Polpaare, deren Feld berührungslos über Hallsensoren erfasst werden kann. Die Auswertelektronik kann z.B. an jedem Polwechsel einen Wechsel des Zählsignals sowie

ein Signal erzeugen, welches die Drehrichtung des Rotors angibt. Beispielsweise bei einem Ausfall der Auswertelektronik im Steuergerät und/oder ein Ausfall der Hallsensoren an den Motoren können keine Zählimpulse mehr empfangen werden. Die Steuerung kann dann die Lage des Schaltfingers nicht mehr bestimmen. Es ist auch möglich, dass z. B. durch die EMV Impulse an der Signalleitung induziert werden oder dass die Auswertelektronik sich sporadisch verzählt. Dadurch kann es auch zu Fehlfunktionen in der Steuerung kommen.

Um die oben genannten Fehler möglichst frühzeitig zu erkennen, kann eine Modellierung der ASG-Getriebeaktoren implementiert werden. Diese möglichen Modelle können z.B. aus den Motorspannungen die zu erwartenden Drehzahlen und Rotorstellungen ermitteln und somit die modellierten Größen mit denen der Inkrementalwegmessung entsprechend vergleichen. Beispielsweise werden während der Schalt- und Wählvorgänge die gemessenen Motorinkremente mit den modellierten Inkrementen verglichen. Wenn die Differenz der beiden Größen eine vorbestimmte Schwelle überschreitet, kann ein Fehler der Inkrementalwegmessung angenommen werden. Dabei wird das Vertrauensmaß auf 1 (Guess) gesetzt und eine Neutralreferenzfahrt angefordert, welche bei erfolgreichem Abgleich das Vertrauensmaß wieder auf 2 (Coarse) setzt. Bei erkanntem Fehler kann ein Eintrag in den Fehlerspeicher erfolgen. Es ist möglich, dass die vorgeschlagene Fehlerstrategie geeignet modelliert wird, um die Fehlererkennung weiter zu verbessern.

Bei Messungen in der Klimakammer hat sich gezeigt, dass die Modelle der Getriebemotoren besonders bei sehr tiefen Temperaturen, z.B. bei etwa  $-30^{\circ}$  Celsius, zu ungenau sind. Bei diesen Temperaturen können Fehlererkennungen auftreten, obwohl objektiv kein Fehler der Inkrementalmessung vorlag. Grund dafür kann die Veränderung im Streckenverhalten der Getriebeaktorik bei Temperaturänderungen sein. Darauf kann das bisherige Modell nicht eingestellt werden, da die Modellparameter konstant sind.

Derselbe Effekt liegt vor, wenn Getriebemotoren verwendet werden, die an der äußersten Grenze der Fertigungstoleranzen liegen, da die Bestimmung der Modellparameter auf Basis eines standardisierten Getriebemotors bei normalen Betriebsbedingungen durchgeführt wird. Daraus ergeben sich die Anforderung, dass die Modellparameter an das reale und jeweils vorliegende Streckenverhalten der Getriebeaktorik angepasst werden müssen. Auf diese Weise kann eine langfristig robuste Fehlererkennung der Inkrementalwegmessung realisiert werden.

Es hat sich gezeigt, dass die vorher beschriebene Online-Identifikation zur Erfüllung der vorgenannten Anforderungen besonders vorteilhaft ist. Ein entsprechendes Signalflussdiagramm der Getriebesteuerung für eine Online-Identifikation der Getriebeaktorik ist bereits in Figur 4 gezeigt. In Figur 4 ist die Lage der Identifikation im Signalflussplan der Inkrementalwegmessung dargestellt. Nur dann, wenn keine Fehlererkennung vorliegt, wird während der Schalt- und Wählvorgänge die Motordrehzahl  $n_{ist}$  und die Motorspannungen  $u_{ist}$  der

Getriebemotoren erfasst und jeweils nach einer abgeschlossenen Schaltung werden die ermittelten Modellparameter im  $PT_1$ -Glied des Modells entsprechend angepasst. Dies erfolgt unabhängig voneinander sowohl beim Schalt- als auch beim Wählmotor. Daraus ergibt sich, dass die in Figur 4 dargestellte Online-Identifikation sowohl für den Wähl- als auch für den Schaltaktor verwendbar ist.

Bei der Implementierung der vorgeschlagenen Strategie kann vorzugsweise ein Zeitfenster bei der Identifikation vorgesehen sein. Eine Identifikation kann zum einen durchgeführt werden, wenn eine stetige Anregung des Systems, also eine Bestromung der Motoren, erfolgt und zum anderen kann die Identifikation durchgeführt werden, wenn die Bewegung der Getriebeaktorik frei in der Schaltkulisse verläuft. Daher sollte die Identifikation während einer Schaltung zeitlich eingegrenzt werden, da z.B. während des Synchronisierens keine freilaufende Bewegung der Motoren stattfindet und somit das Ergebnis einer Identifikation verfälscht werden könnte. Somit ist das Vorsehen eines Zeitfensters bei der Identifikation besonders vorteilhaft. Es ist auch möglich, die Implementierung auf andere Art und Weise durchzuführen.

In Figur 8 ist beispielsweise ein Wählvorgang einer 5-2-Schaltung dargestellt. In Figur 9 ist die komplette Schaltbewegung während der 5-2-Schaltung gezeigt. Dabei sind deutlich die einzelnen Schaltzustände zu erkennen:

Gang herausnehmen      ( $Z\_Schalt = 0$ )

Wählen in Neutralbereich	(Z_Schalt = 1)
Synchronisieren	(Z_Schalt = 2)
Ruhelage einlegen	(Z_Schalt = 4)
Ruhelage erreicht	(Z_Schalt = 6)
Tasten im Gang	(Z_Schalt = 8)

Bei möglichen Fehlern können zusätzlich die Zustände Sync-Problem (3) und Einspur-Problem (5) auftreten.

Im Schaltzustand 1 findet die freilaufende Wählbewegung des Wählmotors innerhalb der Neutralgasse statt, während die Schaltbewegung in Richtung Neutralgasse Schaltzustand 0 und Schaltzustand = 1 erfolgt. Dabei sollten sich die Motoren im lageregelten Modus (SelMode = 4 und ShfMode = 4) befinden. In diesem Bereich kann die Identifikation und auch die Modellierung der Getriebeaktuatorik stattfinden. Auch die Vorspannung des Schaltmotors bei ca. 2 bis 4 V zeigt keine Beeinflussung bezüglich der Identifikationsparameter. Da sich die Motoren auch nicht im lageeregelten Modus befinden, kann die Identifikation nicht gestartet werden.

Der Identifikationsablauf kann beispielsweise vorgesehen sein, wie dies in Figur 5 in einer Tabelle dargestellt ist. Um einen geregelten Ablauf der Identifikation zu gewährleisten, kann es erforderlich sein, einen Status für die Identifikation einzuführen. Damit werden die einzelnen Zustände der Identifikation eindeutig identifiziert und der Ablauf geeignet gesteuert (Figur 5).

Figur 6 zeigt nun die möglichen Abläufe während einer erfindungsgemäßen Identifikationsstrategie in Form einer Zustandsdarstellung. Dabei sind die möglichen Eintrittsbedingungen für die einzelnen Zustände in einer in Figur 10 dargestellten Tabelle beschrieben. Der Ausgangszustand ist generell der Zustand 0 (keine Identifikation erlaubt). Wenn der Status auf 0 gesetzt wird, kann die Identifikation deaktiviert werden. Es ist denkbar, dass die Identifikation des Schalt- und Wählmotors separat aktiviert wird. Damit ist es möglich, bei Schaltungen, die keine Wählbewegungen erfordern, die Identifikation zu deaktivieren.


Darüber hinaus kann bei einer Fehlererkennung der Inkrementalwegmessung durch das Modell der Getriebemotoren die Identifikation z.B. abgebrochen werden. Bei dem Zustand 2 werden die Drehzahlen und die Motorspannungen erfasst und die Zwischengrößen der Identifikation berechnet. Bei dem Zustand 3 werden die in Status 2 ermittelten Zwischengrößen verwendet, um die Modellparameter (A, B) zu berechnen. Wenn die berechneten Modellparameter in einem plausiblen Bereich liegen (siehe Figur 10) kann der Identifikationsstatus z.B. auf 5 gesetzt werden. Damit kann die Identifikation erfolgreich abgeschlossen werden und die identifizierten Modellparameter können in vorteilhafter Weise weiter verwendet werden.

In Figur 11 ist eine mögliche Identifikationsstrategie bei der Wählaktuatorik während einer 2-3-Schaltung dargestellt. Bei Änderungen des Zielganges wird die Identifikation aktiviert ( $\text{SelState} = 1$ ). Wenn der Schaltzustand auf Schal-


ten/Wählen ( $Z\_Schalt = 1$ ) vorgesehen ist, kann die Identifikation gestartet werden. Dabei werden die Motorspannungen sowie die Motordrehzahlen eingelesen und die Zwischengrößen berechnet. Wenn die freilaufende Wählbewegung abgeschlossen ist ( $Z\_Schalt = 2$ ), können die Parameter A ( $SelIdA$ ) und der Parameter B ( $SelIdB$ ) ermittelt werden. Danach wird die Identifikation z.B. deaktiviert ( $SelState = 0$ ).

Im Rahmen einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung können Zusatzstrategien vorgesehen werden. Beispielsweise kann die Richtigkeit einer Identifikation überprüft werden. Die Voraussetzung einer Berechnung der Parameter ist z.B. die korrekte Ermittlung der Zwischengrößen. Um dies zu gewährleisten, kann es erforderlich sein, vor einer Parameterberechnung einige Sicherheitsmaßnahmen durchzuführen, wobei nachfolgend beispielhaft Sicherheitsmaßnahmen genannt werden, wobei die Aufzählung der nachfolgenden Sicherheitsmaßnahmen nicht abschließend ist:

1. Anzahl der Messdaten sind zu gering; die Zwischengrößen werden über die eingelesenen Wertepaare von Motorspannung und Motordrehzahl z.B. berechnet. Wenn die Anzahl der Messdaten nicht ausreichend ist, kann eine sichere Identifikation nicht gewährleistet werden. Daher kann vorzugsweise kontrolliert werden, ob sich die Anzahl über einer vorgegebenen Schwelle befindet. Diese Schwelle kann erfahrungsgemäß z.B. auf 10 Wertepaare festgesetzt werden. Es sind auch andere Werte für die Schwelle möglich. Wenn die Anzahl nach einer Schaltung kleiner als



10 ist, werden keine neuen Parameter identifiziert. Die Modellparameter können dann ihre alten Werte behalten. Die Identifikation kann z.B. abgebrochen werden und die Parameter werden damit nicht aktualisiert ( $\text{SelState} = 4$ ). In Figur 12 ist eine Messung am Prüfstand dargestellt, bei der die Anzahl der Messdaten zu gering sind und somit keine Identifikation durchgeführt wird. Hierbei wird ein Abbruch der Identifikation provoziert, indem die Anzahl der zu messenden Wertepaare ( $\text{SelHwN}$ ,  $\text{SelHwUk}$ ) erhöht wird (Mindestanzahl = 20 Wertepaare). Dabei kann es bei dieser Schaltung zu einem Abbruch der Identifikation kommen, da die Anzahl der Wertepaare (während  $\text{SelState} = 2$ ) gleich 12 ist. Somit gilt der  $\text{SelState}$  auf dem Wert 4 (entspricht Fehler in der Identifikation). Dabei können die Parameter konstant bleiben und den bereits ermittelten Wert behalten und nicht aktualisiert werden.

- 
2. Ein Überlauf der Zwischengrößen; die Zwischengrößen errechnen sich durch eine Summierung von Messwerten. Daher kann die Gefahr bestehen, dass die Zwischengrößen überlaufen. Um einen Überlauf zu erkennen, kann vor jeder Summierung z.B. kontrolliert werden, ob der Wertebereich überschritten wird. Erst wenn der Wertebereich nicht überschritten wird, kann z.B. die Summierung durchgeführt werden. Ansonsten kann die Summierung abgebrochen und die bereits berechneten Werte der Zwischengröße verwendet werden, um die aktuellen Modellparameter noch zu ermitteln. In diesem Fall werden die Parameter nicht aktualisiert. In Figur 13 ist eine derartige Messung am Prüfstand dargestellt. Sie



zeigt einen Überlauf der Zwischengrößen während einer Identifikation. Wenn die Anzahl der Messdaten aber ausreichend ist, kann vorgesehen sein, dass nach dem Abbruch der Identifikation dennoch mit den bereits berechneten Summationsgrößen neue Parameter berechnet werden ( $\text{ShfState} = 5$ ).


Es ist auch möglich, dass andere als die beiden vorgenannten Sicherheitsmaßnahmen bei der erfindungsgemäßen Strategie verwendet werden.

Hinsichtlich einer Initialisierung kann vorgesehen sein, dass die Modellparameter z.B. nach dem Zustand „Zündung-Ein“ neu ermittelt werden. Dies bedeutet, dass sie nicht bei dem Zustand „Zündung-Aus“ in den EEPROM (elektronischer Speicher) abgespeichert werden. Dies deshalb, weil die Parameter sich in dem Zustand „Zündung-Aus“, z.B. wenn das Fahrzeug über Nacht abgestellt wird, erheblich ändern können, dass bei dem Zustand „Zündung-Ein“ diese nicht mehr für die Fehlererkennung verwendet werden können. Folgende Initialisierungsroutine kann daher vorzugsweise durchlaufen werden:


1. Nach der ersten erfolgreichen Identifikation können die Modellparameter aus den identifizierten Parametern übernommen werden, d.h.  $P_{\text{mod}} = P_i$ .

dent ;

2. Das Modell zur Fehlererkennung der Inkrementalwegmessung ist jedoch noch deaktiviert;
3. Nach jeder erfolgreichen Identifikation können die Modellparameter nach der Gleichung 3.1 gefiltert werden;
4. Z.B. nach drei erfolgreichen Identifikationen kann das Modell zur Fehlererkennung aktiviert werden.



Dies bedeutet, dass das Modell z.B. nach jedem Zustand „Zündung-Ein“ eine Totzeit von drei erfolgreichen Identifikationen durchlaufen kann, bis sich die Parameter auf zuverlässige Werte eingestellt haben. Erst dann kann das Modell und damit die Fehlererkennung der Inkrementalwegmessung aktiviert werden. Es ist auch denkbar, dass andere Initialisierungsroutinen oder auch beliebige Kombinationen von anderen möglichen Routinen verwendet werden können.



Die schon unter 3. bei der vorgenannten Initialisierungsroutine genannte Filterung kann z.B. auf Grund der Robustheit der identifizierten Modellparameter die Modelle der Schalt- und Wählaktorken erst nach drei erfolgreich durchgeführten Identifikationen durchgeführt werden. Da eine geringfügige Streuung bezüglich der identifizierten Parameter vorliegt, kann es vorteilhaft sein, die neu identifizierten Parameter mit denen der vorher bereits identifizierten Parameter zu gewichten. Dabei kann zwischen Modellparametern  $P_{\text{mod}}$  und Identifikationsparametern  $P_{\text{ident}}$  unterschieden werden. Die Identifikationsparameter werden nach

jeder Schaltung mit der Berechnungsroutine ermittelt. Die Modellparameter sind die Parameter, die für die implementierten Modelle der Schalt- und Wählaktoren verwendet werden können. Diese können sich z.B. nur nach jeder erfolgreich durchgeführten Identifikation wie folgt berechnen:

$$P_{\text{Mod}} = P_{\text{mod}} \times \frac{2}{3} + P_{\text{Ident}} \times \frac{1}{3} \quad \text{Gl. 3.1}$$

Dies bedeutet, dass die bereits im Modell verwendeten Parameter z.B. zu 2/3 und die nach einer Schaltung neu ermittelten Parameter vorzugsweise zu 1/3 übernommen werden, um die aktuellen Modellparameter zu berechnen.

Um die Robustheit der Modell hinsichtlich von Streckenänderungen auf Grund Temperaturunterschiede zu verifizieren, können Schaltungen in einer Klimakammer bei Temperaturen von  $-30^{\circ}\text{C}$  bis  $105^{\circ}\text{C}$  durchgeführt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass bei identischen Schaltzyklen die mittleren Modellparameter A und B für Schalt- und Wählaktoren bei unterschiedlichen Temperaturen aufgenommen sind. Die Streuungen bezüglich der einzelnen Identifikationen betragen etwa 5 – 8%. Das Ergebnis der gemittelten Modellparameter ist in Figur 14 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass nur durch eine erfindungsgemäße Online-Identifikation der Getriebemotoren und einer geeignete Adaption der Motormodelle die Fehlererkennung der Inkrementalwegmessung in vorteilhafter Weise robust gehalten werden können.


In Figur 15 ist eine spezielle Situation dargestellt, welche die Identifikations- und Modellierungsstrategie nach einem Reset darstellt. Nach einem Reset werden die Modellparameter auf 0 zurückgesetzt und das Modell deaktiviert. Dies kann die Unsicherheiten des Streckenverhaltens bezüglich der Modellierung nach einem Reset verringern. Nach drei erfolgreichen Identifikationen kann das Modell dann wieder aktiviert werden. Dabei wurden auch die Werte der identifizierten Modellparameter in die Ausgabe der Langzeitmessung übernommen, um eine langfristige Beobachtung und Diagnose stellen zu können.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Online-Identifikation der Aktormodelle eine robuste Fehlererkennung der Inkrementalwegmessung ermöglicht, da während des Betriebs eine Identifikation des Streckenverhaltens durchgeführt wird. Es werden somit Streckenänderung bedingt durch Temperatureinflüssen, Lebensdauer sowie Fertigungsstreuung der Getriebemotoren geeignet berücksichtigt. Es ist möglich, dass über das identifizierte Verhalten der Strecke eine Adaption des Lagereglers zusätzlich durchgeführt wird. Auf diese Weise ist ein optimales Regelverhalten zu realisieren. Die Kompensationsstrategie für den Lageregler verwendet ebenfalls die identifizierten Parameter der Getriebeaktorik, um die Änderungen der Strecke durch eine Änderung der Lagereglerspannung zu kompensieren.


Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es die entwickelte Online-Identifikation für die Getriebeaktoren ermöglicht, die Modelle auf Grund von Än-

derungen des Streckenverhaltens zu adaptieren. Somit ist eine langfristige Adaption und eine ausreichende Robustheit der Modelle gewährleistet.

Nachfolgend wird eine weitere Ausgestaltung der hier vorgestellten Erfindung beschrieben, bei der eine weitere mögliche Modellierung der ASG-Getriebeaktoren vorgeschlagen wird.



Über die Aktorik können die Gleichstrommotoren der Getriebeaktoren den Schaltfinger in der Kulissee bewegen. Die Drehzahl und Positionen werden über Hallsensoren direkt an den Motoren gemessen. Die Getriebeaktorik zeigt bezüglich der Ankerspannung und der Motordrehzahl ein  $PT_1$ -Verhalten, wenn der Schaltfinger in der Schaltkulissee freilaufend verföhrt. Bezüglich der Motorposition zeigen die Motoren ein sogenanntes  $IT_1$ -Verhalten. Dies bedeutet, dass eine Reihenschaltung eines  $PT_1$ -Glieds und eines Integrators vorgesehen ist. Dies ist auch in Figur 16 dargestellt. Dort wird das Streckenverhalten der Getriebeaktoren geeignet modelliert.



Die Gleichungen für das in Figur 16 dargestellte Motormodell lauten wie folgt:

$$U_a = R_a \cdot i_a + \overset{0}{L_a \cdot \dot{i}_a} + c_m \cdot \omega_m \quad \text{Gl. 1.1}$$

$$M_m = c_m \cdot i_a \quad \text{Gl. 1.2}$$

$$J_m \cdot \dot{\omega}_m = M_m - d \cdot \omega_m \quad \text{Gl. 1.3}$$

Auf Grund der vernachlässigbar kleinen Induktivität  $L_a$  ( $L_a/R_a \sim 0,0008$ ) kann der in Gleichung 1.1 gebildete Term gleich 0 gesetzt werden. Die Vernachlässigung der Induktivität kann auch während des eigentlichen Reglerentwurfs durchgeführt werden. Eine kontinuierliche Zustandsdarstellung kann durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$\begin{bmatrix} \dot{n} \\ \dot{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_m^2}{R_a \cdot J_m} - \frac{d}{J_m} & 0 \\ \frac{N_{puls}}{60} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n \\ x \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_m}{R_a \cdot J_m} \cdot \frac{60}{2\pi} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot U_a \quad \text{Gl. 1.4}$$

wobei

$\omega_m$ : Drehgeschwindigkeit Motor

$n$ : Motordrehzahl der Getriebemotoren [1/min]

$x$ : Motorposition [Inkrement]

$N_{puls}$ : Anzahl der Motorinkremente pro Umdrehung

Eine kontinuierliche Bewegungsgleichung kann dann wie folgt lauten:

$$\dot{n} = \underbrace{\left( -\frac{c_m^2}{R_a \cdot J_m} - \frac{d}{J_m} \right)}_{a_k} \cdot n + \underbrace{\left( \frac{c_m}{R_a \cdot J_m} \cdot \frac{60}{2\pi} \right)}_{b_k} \cdot U_a \quad \text{Gl. 1.5}$$

$$\dot{x} = \underbrace{\frac{N_{puls}}{60}}_K \cdot n \quad \text{Gl. 1.6}$$

$$\Rightarrow \dot{n} = a_k \cdot n + b_k \cdot U_a \quad \text{Gl. 1.7}$$

$$\dot{x} = K \cdot n \quad \text{Gl. 1.8}$$

Eine diskrete Darstellung der Bewegungsgleichung 1.7 bzw. 1.8 zeigen die schon vorher erwähnten Gleichungen:

$$n_k = A \cdot n_{k-1} + B \cdot u_{k-1} \quad \text{Gl. 1.9}$$

$$x_k = x_{k-1} + K \cdot T_A \cdot n_k \quad \text{Gl. 1.10}$$

wobei

A : Modellparameter für die Dynamik der Strecke

B : Modellparameter für die Streckenverstärkung

$T_A$ : Abtastzeit (5ms)

K : Umrechnungsfaktor zwischen Motordrehzahl und Motorinkremente =  
 $N_{\text{puls}}/60$

n : Motordrehzahl (k : aktueller Interrupt, k-1 : Lageregler-Interrupt zuvor)

x : Motorinkremente (k : aktueller Interrupt, k-1 : Lageregler-Interrupt zuvor)

Das dynamische Systemverhalten kann z.B. durch den Parameter A wiedergegeben werden, während durch den Parameter B die Verstärkung des Systems dargestellt wird. Die Umrechnung der Motordrehzahlen in Inkremente kann durch einen Integrator oder dgl. (Gleichung 1.6) erfolgen. Dabei kann es einen konstanten Umrechnungsfaktor K zwischen Anzahl der Inkremente pro Umdrehung und eine konstante Abtastzeit von z.B. 5ms (Einlesen der Messdaten) geben. In Figur 17 sind beispielhaft diskrete Module der Bewegungsgleichungen 1.5 und 1.6 graphisch dargestellt.

Nachfolgend ist eine Identifikation eines Systems erster Ordnung (Least-Square-Verfahren) beschrieben. Ein einfaches und leicht zu implementierendes Identifikationsverfahren ist das sogenannte Least-Square-Verfahren (LS-Verfahren). Ein Spezialfall kann das Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate für ein System erster Ordnung sein. Es ergeben sich folgende Gleichungen:

$$n_u(k) = A \cdot n_u(k-1) + B \cdot u(k-1)$$

Gl. 2.11



$$n(k) = n_u(k) + z(k)$$

Gl. 2.2

k : diskreter Zeitpunkt

n : Drehzahl

u : Eingangsspannung

z : Störungssignal (weißes Rauschen)

Diese Differenzgleichung 2.1 kann aus einem kontinuierlichen Verzögerungsglied z.B. einem PT<sub>1</sub>-Glied und einem Halteglied nullter Ordnung entstehen. Dies ist in Figur 18 graphisch angedeutet, wobei ein Halteglied mit diskreter Abtastung verwendet wird. Der Ausgang des Verzögerungsgliedes  $n_u$  kann gemäß Gleichung 2.2 vorzugsweise noch mit einer Störung  $z$  versehen sein. Diese Störung  $z$  kann die Unsicherheiten des Systems, wie z.B. Reibung oder dgl., und der Signalverarbeitung, z.B. Messrauschen oder dgl., darstellen. Die Parameter A und B der obigen Bewegungsgleichung 2.1 können folgendermaßen identifiziert werden:

1. Aufsummieren von Zwischengrößen;

während der Schalt- und Wählvorgänge können zu diskreten Abtastzeiten (Lageregler-Interrupt von etwa 5ms) die Motorspannung und die Motordrehzahl von Schalt- und Wählmotor eingelesen werden. Mit die-

sen Werten können folgende Zwischengrößen berechnet werden, wobei die nachfolgenden Gleichungen teilweise vorher verwendet worden sind:

$$\Phi_{nn}(0) = \sum_0^{N-1} n(i) \cdot n(i) \quad \text{Gl. 2.3}$$

$$\Phi_{un}(0) = \sum_0^{N-1} n(i) \cdot u(i) \quad \text{Gl. 2.4}$$

$$\Phi_{uu}(0) = \sum_0^{N-1} u(i) \cdot u(i) \quad \text{Gl. 2.5}$$

$$\Phi_{nn}(1) = \sum_1^N n(i) \cdot n(i-1) \quad \text{Gl. 2.6}$$

$$\Phi_{un}(1) = \sum_1^N n(i) \cdot u(i-1) \quad \text{Gl. 2.7}$$

2. Es kann eine Berechnung von Modellparametern vorgesehen sein; wenn die Berechnung der Zwischengröße nach der freilaufenden Bewegung des Schalt- und Wählvorganges abgeschlossen ist, können die Parameter A und B durch die bereits erwähnten Gleichungen bevorzugt berechnet werden;

$$A = \frac{-\Phi_{uu}(0) \cdot \Phi_{nn}(1) + \Phi_{un}(0) \cdot \Phi_{un}(1)}{\Phi_{uu}(0) \cdot \Phi_{nn}(0) - [\Phi_{un}(0)]^2} \quad \text{Gl. 2.8}$$

$$B = \frac{-\Phi_{un}(0) \cdot \Phi_{nn}(1) + \Phi_{nn}(0) \cdot \Phi_{un}(1)}{\Phi_{un}(0) \cdot \Phi_{nn}(0) - [\Phi_{un}(0)]^2} \quad \text{Gl. 2.9}$$

3. Es kann eine Modellierung der Getriebemotoren vorgesehen sein;  
das Modell der Motoren kann sich vorzugsweise aus einem PT<sub>1</sub>-Glied und einem Integrator zusammensetzen. Die aktuelle Motordrehzahl kann sich dann aus der Motordrehzahl und der Motorspannung eines Interrupts von z.B. 5ms berechnen. Dazu können die bereits erwähnten Gleichungen verwendet werden:

$$n_k = A \cdot n_{k-1} + B \cdot u_{k-1} \quad \text{Gl. 2.10}$$

$$x_k = x_{k-1} + K \cdot T_A \cdot n_k \quad \text{Gl. 2.11}$$

K : Umrechnungsfaktor (Motor-Aktorik-Übersetzung)

T<sub>A</sub> : Abtastzeit (Lagereglerinterrupt ; 5ms)

n<sub>k</sub> : modellierte Motordrehzahl

x<sub>k</sub> : modellierte Motorinkremente

Die vorgenannte Identifikationsstrategie kann durch eine Simulation überprüft werden. Bei der Simulation wird ein lagegeregelter Vorgang durchgeführt. Die ausgegebenen Spannungen und Motordrehzahlen können für eine Identifikation verwendet werden. Die identifizierten Parameter können in einem Modell der Getriebemotoren eingesetzt werden. Bei einer weiteren Simulation ist es möglich, die realen und die modellierten Motordrehzahlen und Positionen zu vergleichen, um die Genauigkeit der Identifikation zu überprüfen. Die Identifikation kann in der diskreten Darstellung erfolgen, während die Simulation mit kontinuierlichen Parametern durchgeführt wird. Daher ist es notwendig, die identifizierten Parameter in die kontinuierliche Darstellung umzurechnen. Die realen Parameter werden über Motorkennlinien und Datenvorgabe in das Modell eingesetzt.

Beispielsweise: Wählmotor

$$R_a = 0,45 \Omega$$

$$C_m = 0,025 \text{Vs}$$

$$J_m = 1,16 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$d_{\text{reib}} = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{Nm s}$$

Die kontinuierliche Darstellung ist wie folgt:

$$\text{Reale Parameter} \quad a_k = -91,8 \quad b_k = 3472,2$$

$$\text{Identifizierte Parameter} \quad a_k = -91,8 \quad b_k = 3472,2$$

In Figur 19 ist eine simulierte Sprungantwort eines realen Systems und eines Systems mit identifizierten Parameter A, B dargestellt. Das  $PT_1$ -Verhalten kann exakt wiedergegeben werden. Bei einer Implementierung sollte allerdings beachtet werden, dass zum einen die Integerarithmetik verwendet werden muss und zum anderen sollte das reale System im Fahrzeug kein exaktes  $PT_1$ -Verhalten haben. Bei der Simulation in Figur 19 ist die Sprungantwort eines realen mit Pluszeichen und eines modellierten mit Null gekennzeichneten Systems dargestellt.

Die Simulation zeigt, dass diese Identifikationsmethode eines  $PT_1$ -Systems eine sehr hohe Genauigkeit bei einfacher Programmierung aufweist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Online-Identifikation für die Getriebeaktoren besonders vorteilhaft ist, wenn zusätzlich eine Adaption vorgesehen ist. Das Streckenverhalten der ASG-Aktorik zeigt ein  $PT_1$ -Verhalten bezüglich der Ankerspannung als Eingangsgröße und der Motordrehzahl als Ausgangsgröße bei freilaufender Bewegung innerhalb der Schaltkulisse.

Nachfolgend wird ein Verfahren zum Erkennen von Fehlern bei der Inkrementalmessung bevorzugt während des Tastens und/oder während der Ruhelage in einem Gang erläutert.

Vorzugsweise während einer Rechts-Links-Tastung im Gang und während der Ruhelage in dem Gang kann es bei Fehlern der Inkrementalwegmessung zum

Einlegen eines Gangs kommen. Diese Fehler können z. B. durch Drift, einen Ausfall oder dergleichen auftreten.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren vorzuschlagen, welches insbesondere diese Fehler erkennt und entsprechende Gegenmaßnahmen durchführt.

Demnach kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass bevorzugt durch eine Steueroperation in dem Ansteuerprogramm während des Rechts-Links-Tastens die Wählbewegung einer Plausibilisierung unterzogen wird und/oder während der Ruhelage, also während des Stillstands des Aktors, das Stillstehen überprüft wird. Dabei können vorzugsweise die von der Inkrementalwegmessung ermittelten Drehzahlssignale des Wählmotors mit denen eines bereits vorhandenen Motormodells verglichen werden. Wenn z.B. die Eintrittsbedingung für das Tasten erfüllt ist, kann geprüft werden, ob die gemessene Drehzahl eine bestimmte Schwelle überschreitet. Wenn dieser Fall vorliegt, kann das Vorzeichen der gemessenen Drehzahl und der modellierten Drehzahl verglichen werden. Vorzugsweise kann pro Interrupt ein Zähler hochgezählt werden. Nach einer gewissen Anzahl von Interrupts und keiner vorherigen Fehlererkennung kann die Überprüfung beispielsweise beendet werden, da durch das Fahren an den Anschlag eine Drehzahlverminderung des Motors erfolgt. Wenn z. B. während des Rechts-Links-Tastens eine Wählbewegung nach rechts gemessen wird, jedoch das Modell eine Wählbewegung nach links erwartet, kann das Vertrau-

ensmaß sofort zurückgesetzt werden, um eine Neutralreferenzfahrt zur Überprüfung oder dergleichen einzuleiten.

Ferner kann vorgesehen sein, dass während der Ruhelage im Gang sich der Aktor ohne Bestromung nicht übermäßig bewegen soll. Dabei kann während dieses Schaltzustands geprüft werden, ob die gemessene Drehzahl eine bestimmte Schwelle absolut überschreitet. Wenn dieser Fall eintritt und die berechnete Drehzahl keine Bewegung ergibt, kann z. B. das Vertrauensmaß reduziert werden und ebenfalls bei der nächsten Schaltung eine Neutralreferenzfahrt oder dergleichen durchgeführt werden.

In Figur 20 ist eine Strategie in Form eines Ablaufdiagramms bzw. Flussdiagramms gezeigt, bei der während einer Wähl- bzw. Schaltbewegung der Getriebeaktoren z. B. in einem automatisierten Schaltgetriebe (ASG) ein Ausfall oder eine Drift der Inkrementalwegmessung erkannt wird. Währenddessen werden die erwarteten Motordrehzahlen und die Motorinkremente anhand eines Modells berechnet. Die Aktivierung des Modells kann von vorbestimmten Eintrittsbedingungen abhängig sein, welche z. B. von der Funktionssteuerung geliefert werden. Als Eintrittsbedingungen können bevorzugt für einen Wählvorgang z. B. der Schaltzustand (SZ) = 1 und/oder der Lageregelmodus (LM) = 4 (lagegeregelt) verwendet werden. Es ist auch denkbar, dass andere geeignete Eintrittsbedingungen verwendet werden. Die implementierte Strategie beginnt bei der Erfassung der Motorspannung. Wenn die Eintrittsbedingungen Schaltzustand = 1 und Lagereglernodus = 4 vorliegen, werden die Motordrehzahl und

die Motorinkremente berechnet und somit die Erkennung einer Drift oder eines Ausfalls der Inkrementalwegmessung erkannt. Parallel dazu können für diese Erkennung die Motorinkremente herangezogen werden.

In Figur 21 ist eine erfindungsgemäße Strategie in Form eines Ablaufdiagramms dargestellt, welche auf den Modellen der Wähl- und Schaltaktoren beruht. Ein wesentlicher Unterschied zur vorgenannten Strategie besteht darin, dass die Aktivierung der Modelle in bezug auf die Schaltzustände erweitert wird und die Fehlerstrategien an die einzelnen Schaltzustände angepasst werden.


Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann die Erweiterung bevorzugt darin bestehen, dass während des Tastens im Gang und während der Ruhelage im Gang, also beim Stillstand des Aktors, ebenfalls das Modell in Wählrichtung aktiviert wird. Dabei können die erwarteten Drehzahlen berechnet werden, um diese dann mit den gemessenen Drehzahlen zu vergleichen.

Beim Tasten im Gang kann z. B. der Schaltzustand (SZ) = 8 und der Lagereglermodus (LM)  $\geq 3$  gewählt werden, welches einem lagegeregelten und drehzahlgesteuerten Zustand entspricht. In der Ruhelage im Gang kann der Schaltzustand SZ = 6 und der Lagereglermodus (LM) = 1 gewählt werden.

Nachfolgend wird die Erkennung der Richtungsumkehr in Wählrichtung während des Tastens im Gang erläutert.




Diese Fehlerstrategie kann aktiviert werden, wenn das Taster im Gang angefordert wird. Dann kann der Schaltzustand (SZ) = 8 und der Lagereglermodus (LM)  $\geq 3$  gewählt werden. Diese Strategie ist in Form eines Ablaufdiagramms in Figur 22 dargestellt.



Die Erkennung einer unplausiblen Bewegung während der Ruhelage im Gang wird nachfolgend erläutert. Diese Fehlerstrategie kann aktiviert werden, wenn die Ruhelage im Gang erreicht wird. Dabei kann der Aktor kraftfrei im Stillstand sein. Der Schaltzustand (SZ) kann den Wert 6 und der Lagereglermodus (LM) kann den Wert 1 annehmen. Diese Strategie zur Erkennung unplausibler Bewegungen ist in Form eines Ablaufdiagramms in Figur 23 dargestellt.


Die vorgenannten Werte bei den Strategien insbesondere bezüglich des Schaltzustandes (SZ) und des Lagereglermodus (LM) können auch andere beliebige Werte annehmen.




Vorzugsweise können die vorgeschlagenen Strategien bei Fahrzeugen mit einem automatisierten Schaltgetriebe (ASG), einem Parallelschaltgetriebe (PSG) oder dergleichen zum Einsatz kommen.

Der mit der Anmeldung eingereichte Patentanspruch ist ein Formulierungsvorschlag ohne Präjudiz für die Erzielung weitergehenden Patentschutzes. Die Anmelderin behält sich vor, noch weitere, bisher nur in der Beschreibung

und/oder in den Zeichnungen offenbarte Merkmalskombinationen zu beanspruchen.



Die Ausführungsbeispiele sind nicht als Einschränkung der Erfindung zu verstehen. Vielmehr sind im Rahmen der vorliegenden Offenbarung zahlreiche Abänderungen und Modifikationen möglich, insbesondere solche Varianten, Elemente und Kombinationen und/oder Materialien, die zum Beispiel durch Kombination oder Abwandlung von einzelnen in Verbindung mit den in der allgemeinen Beschreibung und Ausführungsformen sowie den Ansprüchen beschriebenen und in den Zeichnungen enthaltenen Merkmalen bzw. Elementen oder Verfahrensschritten für den Fachmann im Hinblick auf die Lösung der Aufgabe entnehmbar sind und durch kombinierbare Merkmale zu einem neuen Gegenstand oder zu neuen Verfahrensschritten bzw. Verfahrensschrittfolgen führen, auch soweit sie Herstell-, Prüf- und Arbeitsverfahren betreffen.



LuK Lamellen und Kupplungsbau  
Beteiligungs KG  
Industriestraße 3  
77815 Bühl

GS 0582 S A DE


### **Patentanspruch**

Verfahren, Vorrichtung und deren Verwendung zum Betrieb eines Kraftfahrzeuges, vorzugsweise mit einem Antriebsmotor und einem Getriebe im Antriebsstrang, insbesondere zur Ansteuerung der Aktorik eines automatisierten Schaltgetriebes (ASG), gekennzeichnet durch mindestens eines der in den nachfolgenden Anmeldungsunterlagen enthaltenen Merkmale oder der Kombination von mindestens zwei dieser Merkmale.


LuK Lamellen und Kupplungsbau  
Beteiligungs KG  
Industriestraße 3  
77815 Bühl

GS 0582 S A DE

### **Zusammenfassung**



Es wird ein Verfahren, eine Vorrichtung und deren Verwendung zum Betrieb eines Kraftfahrzeuges, vorzugsweise mit einem Antriebsmotor, einer Kupplung und/oder einem Getriebe im Antriebsstrang, insbesondere zur Ansteuerung der Aktorik eines automatisierten Schaltgetriebes (ASG), vorgeschlagen.



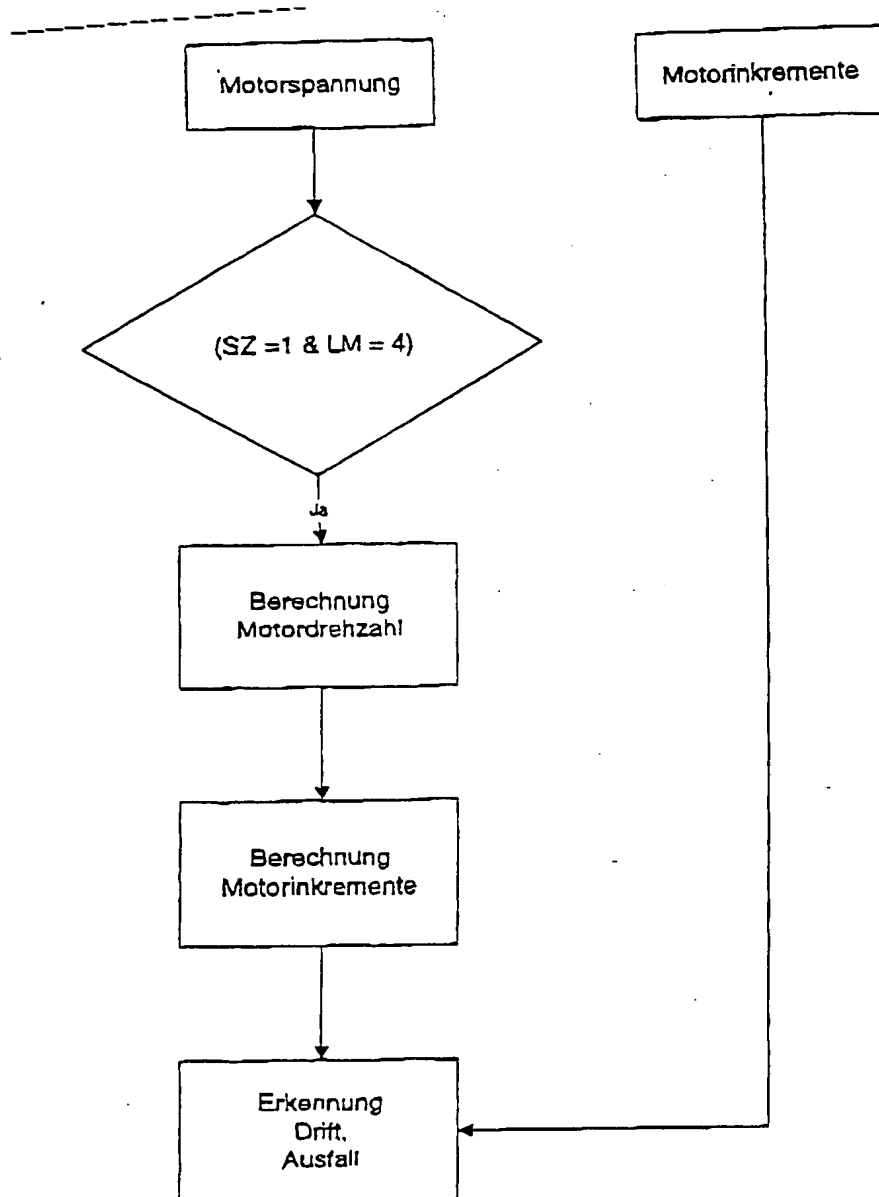


Fig. 20

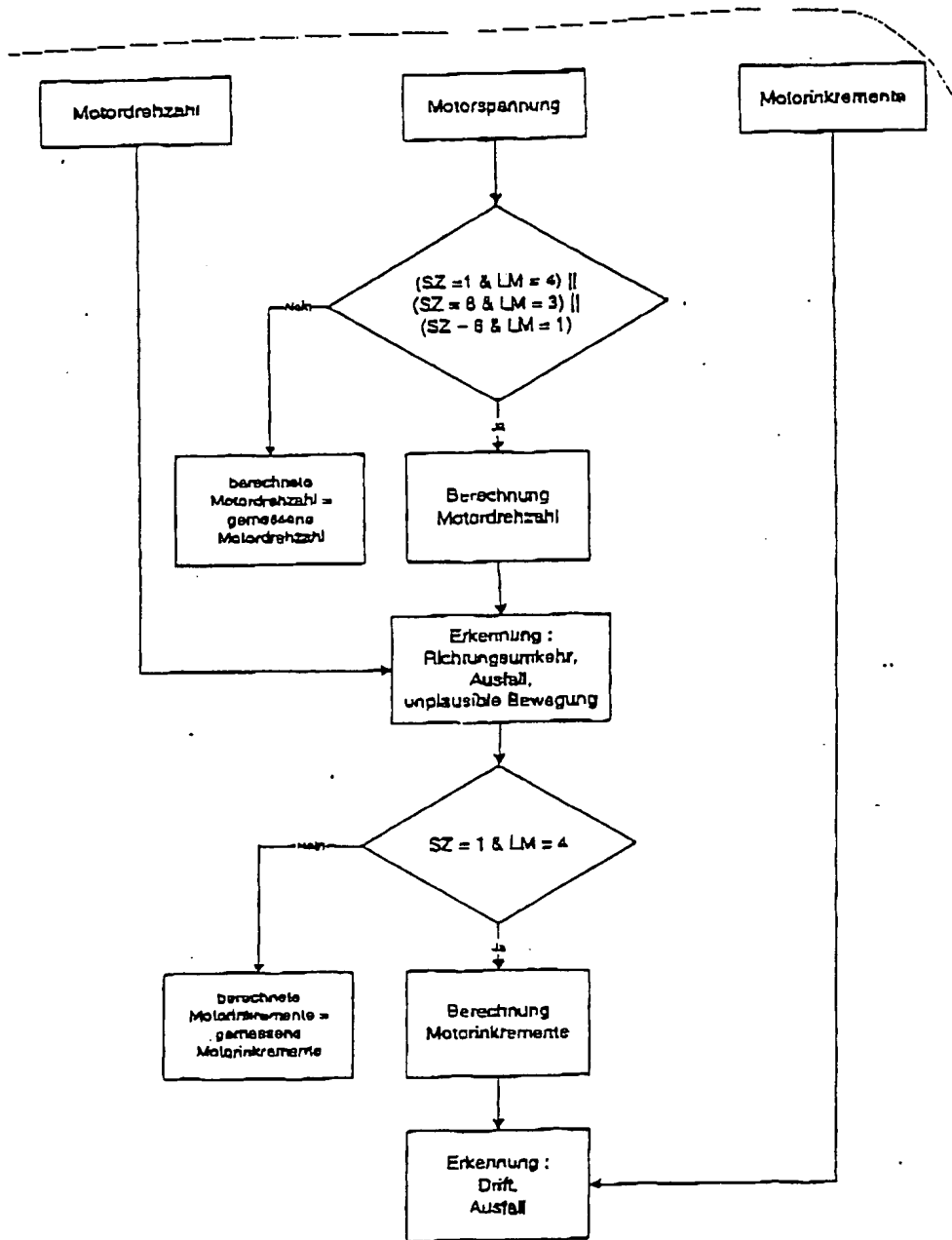


Fig. 21

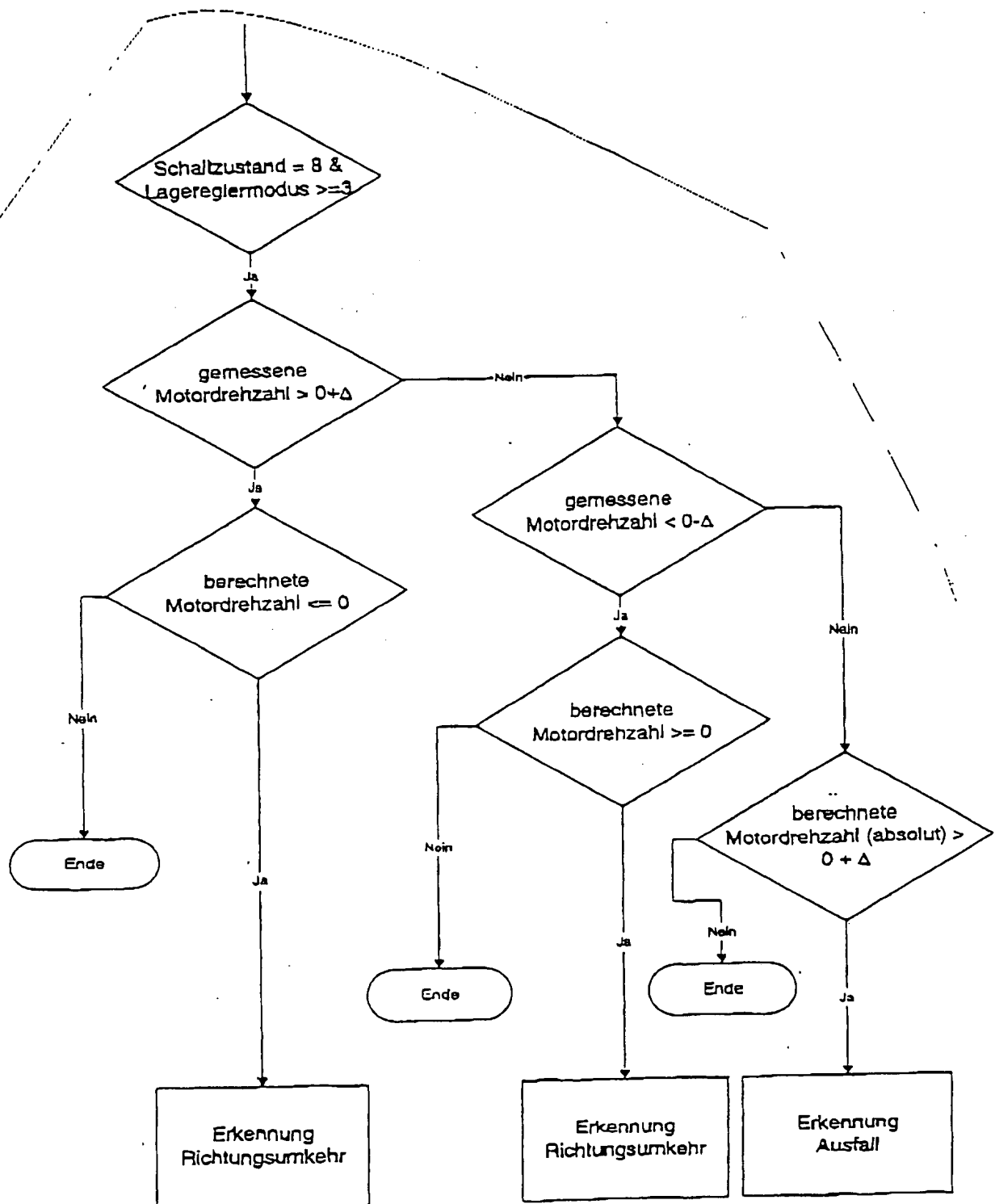


Fig. 22

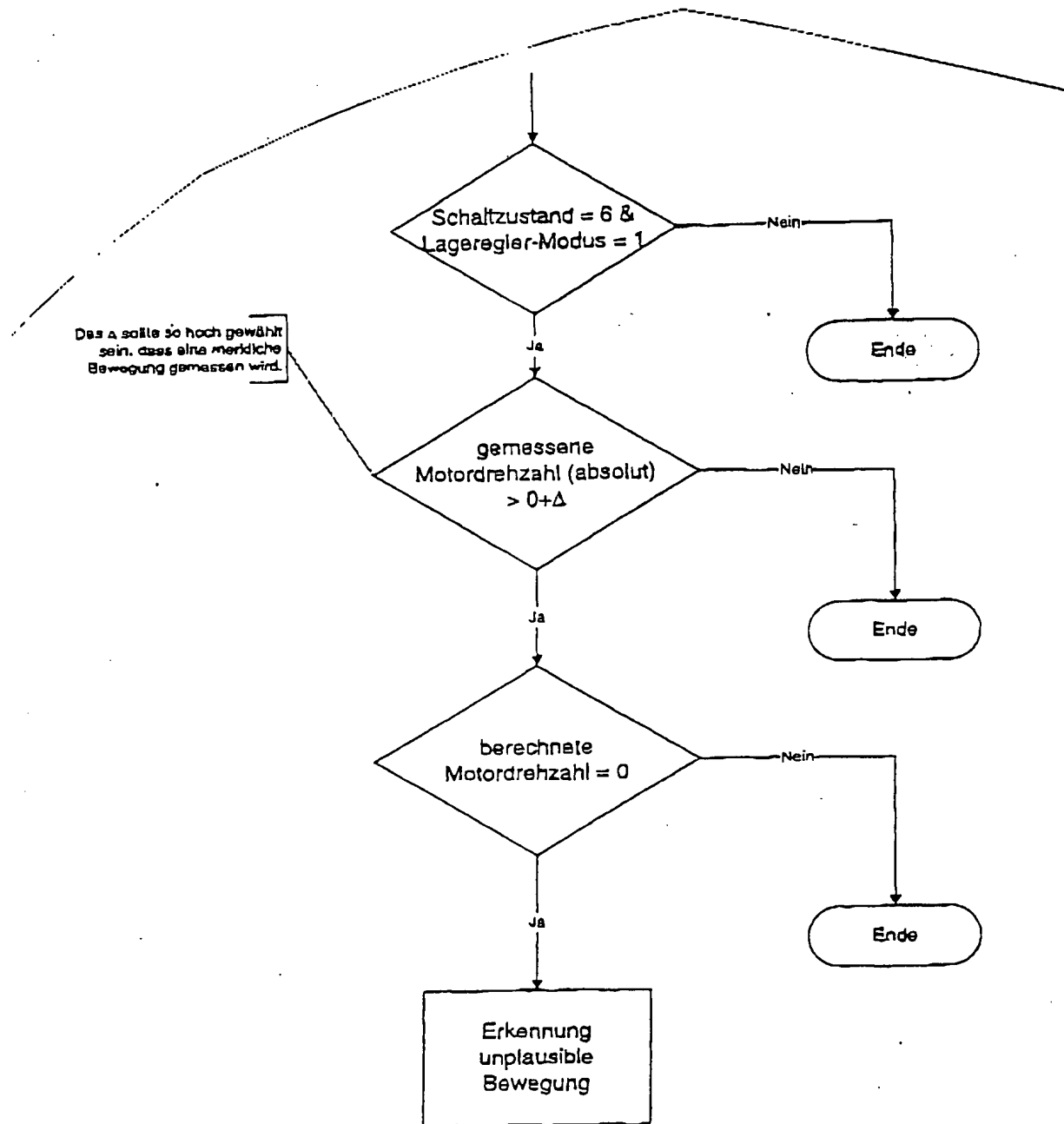


Fig. 23